

Ein Ansatz für das Verkehrsmanagement und die Stellwerkssimulation für Schienenverkehr und U-Bahn

An approach to traffic management and interlocking simulation in railway and underground railway operations

Omar Javed

Simulationen spielen bei der Entwicklung eines jeden realen Systems eine zentrale Rolle. Sie verwenden reale Daten oder Szenarien, um die Funktionen dieser Systeme nachzubilden. Entwickler und Betreiber setzen bei der Entwicklung und dem Betrieb von Systemen täglich Simulationen ein, um bestimmte Szenarien zu testen und herauszufinden, wie die Systeme darauf reagieren. Mithilfe von Simulationen lassen sich für jede hypothetische Situation oder auch für ein zukünftiges Szenario die Ergebnisse vorhersagen. Während der Systementwicklung liegt der Hauptnutzen der Simulation darin, ein kostengünstigeres System mit geringeren Risiken zu entwickeln. Während der Prüf- und Testphase geht es um die Sicherstellung der Leistung, Effizienz und Zuverlässigkeit eines Systems. Nach der Inbetriebnahme des Systems können die Entwickler anhand von Simulationen bestimmte Szenarien auf der Grundlage der Eingabedaten untersuchen.

1 Simulationen in Bahnsystemen

In der realen Welt werden sowohl die Systeme selbst als auch ihre Umgebungen immer komplexer, was es schwierig macht, jedes Szenario zu identifizieren und zu testen. Im Schienenverkehr arbeiten viele verschiedene operative Systeme zusammen, um eine umfassende Lösung zu bieten. Viele Systemeigentümer sind IB (Infrastruktur-

Simulationen play a key role in the development of any real-world system. They use real data or scenarios to mimic the functions of these systems. Developers and operators use simulations every day during the development and operation of systems in order to test specific scenarios and identify how the systems will respond under such circumstances. Simulations can be used to predict outcomes for any hypothetical situation or future occurrence of a scenario. During system development, the key benefit of using simulation is a cost-effective system with reduced risks. During testing, it is the performance, efficiency, and reliability of the system. Once the system has been deployed, the developers can use simulations to explore specific scenarios based on the input data.

1 Simulations in railway systems

Both systems and environments in the real world are becoming increasingly complex, thereby making it challenging to identify and test every scenario. In railways, many different operative systems work together to provide a comprehensive solution for rail traffic operations. Many of these system owners are IMs (infrastructure managers) and RUs (railway un-



Bild 1:
Verkehrsleitzentrale
Fig. 1: A traffic
management centre

turbetreiber) und EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen), aber es gibt natürlich noch andere Systemteilnehmer, die planen, verwalten und umplanen – und damit sicherstellen, dass der Verkehr auf den Gleisen gemäß dem Fahrplan läuft und die verfügbare Streckenkapazität optimal genutzt wird. Zu den Systemen gehören Sicherheitssysteme wie Stellwerke und RBC (Radio Block Centre), Verkehrssteuerungssysteme wie CTC (Central Traffic Control) und TMS (Traffic Management System – siehe Bild 1), Verkehrsplanungssysteme wie Fahrplanerstellungs- oder Managementsysteme und Systeme für das Kapazitätsmanagement im Schienenverkehr sowie Systeme für das Situationsbewusstsein. Neben diesen Systemen gibt es viele weitere Systeme, die den täglichen Betrieb des Schienenverkehrs für einen IB und ein EVU unterstützen. Viele dieser Systeme sind entweder direkt oder über Schnittstellen mit den Sicherheitssystemen und dem CTC-System verbunden. Die Herausforderung besteht dadurch, dass die Systemeigentümer viele dieser Systeme über viele Jahre hinweg von verschiedenen Anbietern bezogen haben und deren Funktionsmerkmale meist auf den jeweiligen Implementierungsverfahren und den damals verfügbaren Technologien basieren.

Die Entwicklung einer Simulationsumgebung für solch komplexe Systeme, die herstellerunabhängig ist, wird zu aufwendig und nahezu unmöglich. Der Schienenverkehr ist ein rhythmischer Prozess, der von Individuen in verschiedenen Organisationen abhängt und die ineinandergreifende Aufgaben ausführt. An diesen Aufgaben sind Lokführer, die die Züge steuern, Verkehrsbetreiber in Verkehrsleitzentralen und Bahnbetriebszentralen sowie Personal in Rangierbahnhöfen, auf Bahnsteigen und an anderen Orten beteiligt.

Ein gut definierter Ansatz besteht darin, die Umgebung in kleinere Teile aufzuteilen, diese zu isolieren und eine Simulation für die wichtigsten Aspekte dieser Umgebung zu erstellen. Für den Schienenverkehr können wir uns ein Szenario vorstellen, in dem die Betreiber ihre täglichen Verkehrsmanagementabläufe simulieren müssen. Die wichtigsten Systeme in diesem Szenario sind das Stellwerk und ein TMS-System.

undertakings), while there are also other system owners who plan, manage, re-plan and ensure that the traffic runs on the railway tracks according to the schedule by maximising the use of the available track capacity. These systems include safety systems such as interlockings and RBC (Radio Block Centre), traffic control systems such as CTC (Central Traffic Control) and TMS (Traffic Management System – see fig.1), traffic planning systems such as timetable planning or management systems and rail capacity management systems and situational awareness systems. In addition to these systems, there are also many other systems that support day-to-day railway operations for the IM and RU. Many of these systems are connected to the safety systems and the CTC system, either directly or through interfaces. The challenge arises when system owners procure many of these systems over many years from multiple vendors with functionalities that are most often based on the implementation techniques and technologies that the vendor had available at the time.

It becomes overly complex, and almost impossible, if we want to design a simulation environment for such complex systems that is vendor agnostic. Railway operations are a rhythmic process that depends on individuals working in different organisations and performing interrelated tasks. These tasks involve drivers operating trains, the traffic operators at traffic management centres and train operation centres and the staff at yards, on platforms and at other locations.

A well-defined approach involves breaking the environment into smaller pieces, isolating them and building a simulation for the most important aspects of that environment. For railway traffic operations, we can consider a scenario where the operators need to simulate their daily traffic management operations. The most important systems in this scenario are the interlocking and the TMS system.

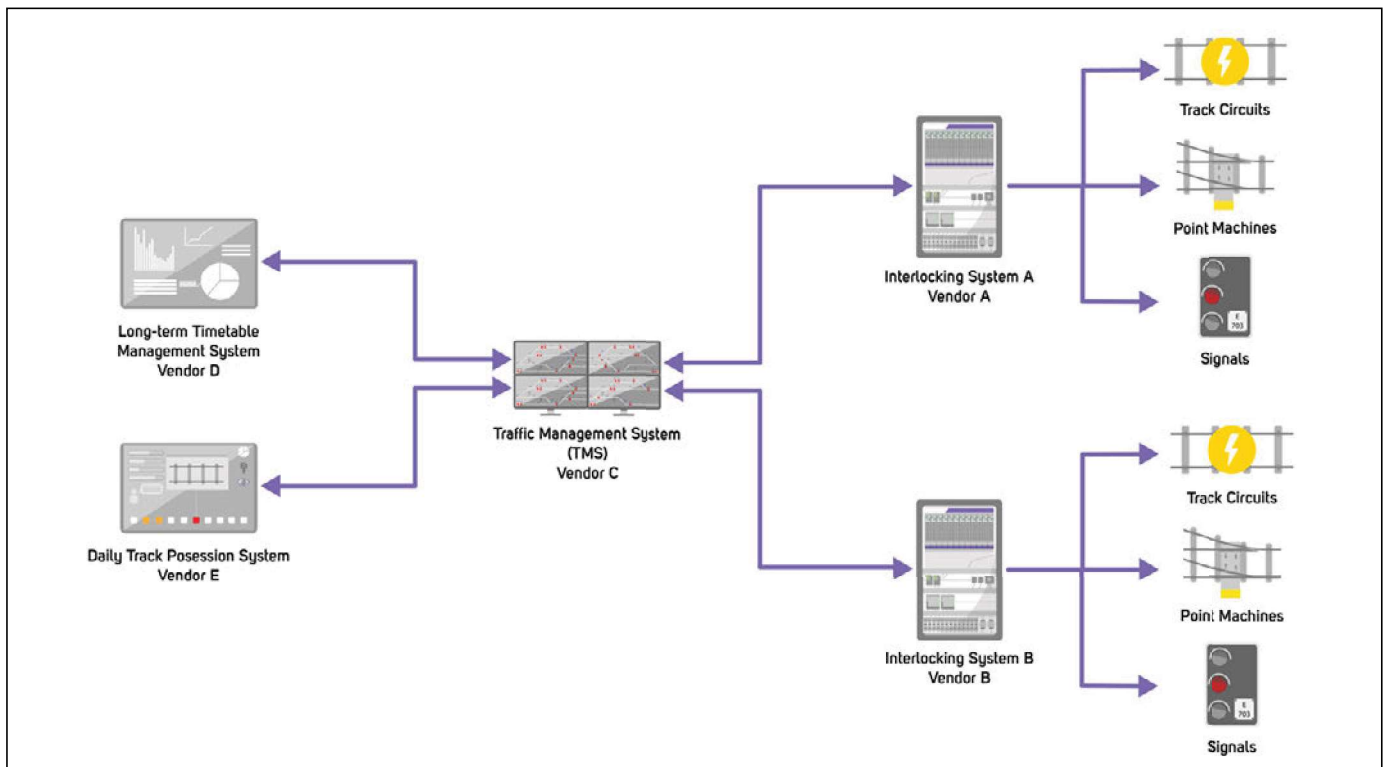


Bild 2: Ein typisches Verkehrsmanagementsystem-Szenario

Fig. 2: A typical traffic management system scenario

2 Verkehrsmanagementsimulationen

Die Verkehrsleitzentrale ist 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche in Betrieb, und die Verkehrsüberwacher / Disponenten verbringen die meiste Zeit vor den Gleislayout-Bildschirmen, um den Verkehr zu beobachten. In einem gut konzipierten, fahrplanbasierten Automatisierungssystem müssen die Disponenten möglicherweise nicht viele Maßnahmen ergreifen, um den Verkehr zu steuern. Es kann jedoch viele Situationen geben, von einem verspäteten Zug bis hin zu einer Störung eines Weichenantriebs im Gleis, die ein sofortiges Handeln der Disponenten erfordern, um eine bewusste Entscheidung mithilfe der im System verfügbaren automatischen Werkzeuge zu treffen. Das Schienenverkehrsmanagement ist auf Echtzeitinformationen aus vernetzten Systemen angewiesen (Bild 2). Technologien zur Gleisfreimeldung, wie Achszähler oder Gleisstromkreise, übermitteln Informationen über Zugbewegungen an das Stellwerk. Das Stellwerk steuert und kontrolliert den Betrieb der meisten streckenseitigen Elemente. Es kann weitere Schnittstellensysteme geben, wie z. B. das Fahrplannerstellungssystem, das langfristige Fahrpläne für das Verkehrsmanagement liefert, oder das Gleisbausystem, das zu einem bestimmten Zeitpunkt Informationen über die Verfügbarkeit der Gleise liefert. Das Verkehrsmanagementsystem empfängt und verarbeitet all diese Informationen, um den Verkehr entsprechend dem Fahrplan effektiv zu steuern, wobei es die vom Stellwerk definierten und auf der physischen Geometrie basierenden Streckeninformationen versteht. Die Verkehrsbetreiber können die Simulation nutzen, um den Netzfahrplan zu überprüfen, bevor er gültig wird, oder um neue Funktionen, die im Rahmen des Stellwerks oder des TMS eingeführt wurden, zu testen. Sie können den Simulator auch als Schulungsinstrument für verschiedene Szenarien und ihr Personal nutzen. Effektive Verkehrsmanagementsimulationen erfordern, dass reale Systeme an der Simulationsumgebung beteiligt sind. Eine typische Simulationsumgebung besteht häufig aus den Systemen, die im Arbeitsalltag verwendet werden, und dem eigentlichen Simulationssystem (Bild 3).

2 Traffic management simulations

The traffic operations centre operates 24 hours a day, seven days a week and the traffic operators spend most of their time in front of the track layout screens observing the traffic. In a well-designed timetable-based automation system, traffic operators may not need to take many actions to manage traffic. However, there can be many situations, ranging from a delayed train to the malfunction of a point machine on the track, that require the traffic operators to make an immediate, conscious decision using the automated tools that are available in the system.

Railway traffic management relies on real-time information from the connected systems (fig. 2). Track vacancy detection technologies, such as axle counters or track circuits, provide the interlocking with train movement information. The interlocking then manages and controls the operations of most trackside elements. There may also be another interfaced system, such as a timetable planning system that provides long-term timetables for traffic management, or the track work system that provides track occupation information at any given time. The traffic management system receives and processes all this information so as to effectively manage the traffic according to the timetable, whereby it understands the route information as defined by the interlocking and based on the physical geometry.

Traffic operators may want to use a simulation to check a working timetable before it becomes valid or to test some new features that have been introduced as part of the interlocking or TMS. They can also use the simulator as a training tool for different scenarios and for their personnel.

Effective traffic management simulations require real systems to be included in the simulation environment. A typical simulation environment often consists of the systems that are currently used in day-to-day work and the simulation system (fig. 3).

This environment facilitates a better understanding of the simulations by the personnel from an operational point of

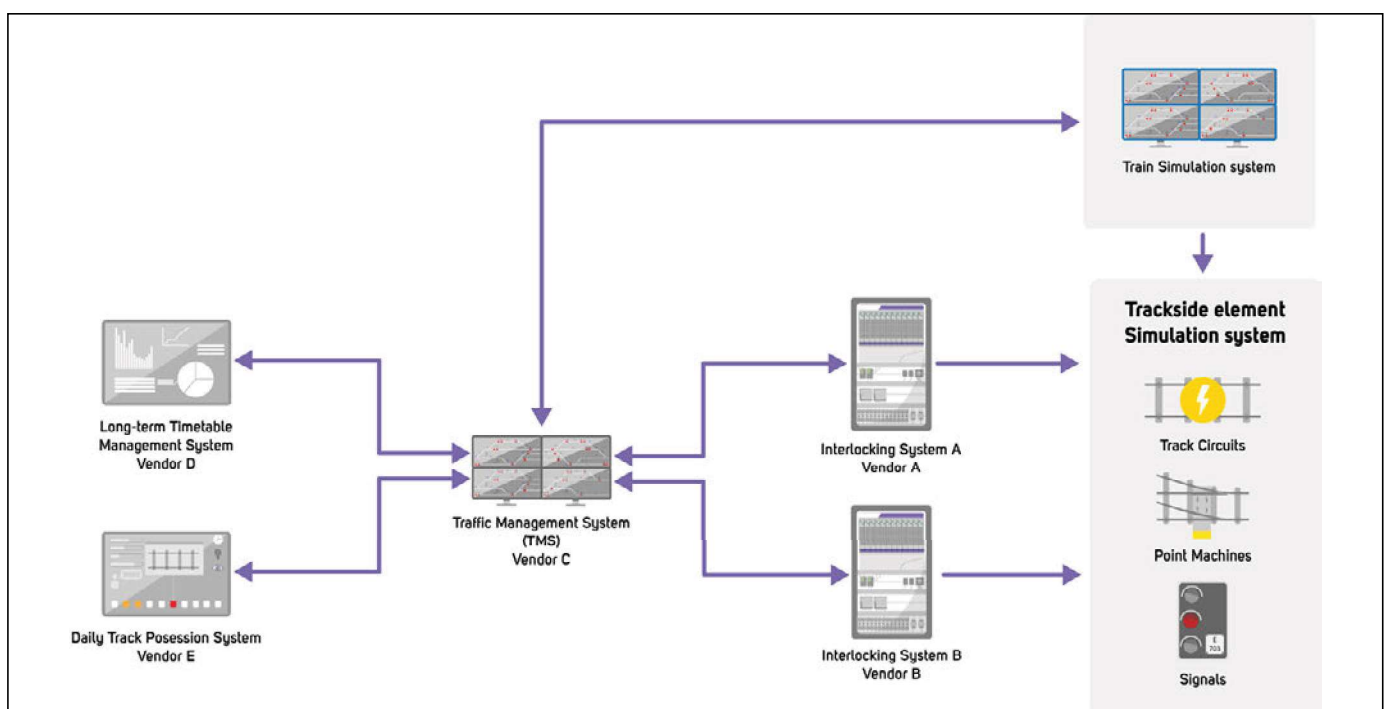


Bild 3: Aufbau der Simulationssystemumgebung

Fig. 3: The environment setup of a simulation system

Diese Umgebung sorgt beim Personal für ein besseres Verständnis der Simulationen aus operativer Sicht. Die Simulationsumgebung ist unabhängig von den realen Systemen, sodass alle Änderungen in der realen Umgebung, die außerhalb des Systems liegen, sich aber direkt auf seine Funktionen auswirken, unabhängig verwaltet werden können. Es ist wichtig zu verstehen, dass, wenn einige Systeme nicht in der Simulationsumgebung verfügbar sind, die Simulationen keine Szenarien durchspielen können, die mit den Informationen aus diesen fehlenden Systemen verknüpft sind.

3 Simulationen des Stellwerks und der streckenseitigen Elemente

Eine der Herausforderungen beim Aufbau einer Verkehrsmanagement-Simulationsumgebung besteht darin, dass die Funktionalität der Systeme ähnlich wie bei den ursprünglichen Systemen sein muss. Dies ist eine Herausforderung für Systeme wie das Stellwerk, die auf spezieller Hardware laufen (Bild 4). Dank der Hardware- und Software-Virtualisierungstechnologien können solche Herausforderungen bewältigt werden. Darüber hinaus kann eine herstellerübergreifende Stellwerkslösung eine größere Herausforderung darstellen, wenn verschiedene Hersteller dieselbe IM-Anforderung umgesetzt haben, die aber intern auf ihren eigenen technologischen Entscheidungen und Implementierungsdetails basieren.

Ein Aspekt, der bei der Simulation des Stellwerkssystems berücksichtigt werden muss, ist die Steuerung der physischen Elemente am Gleis. Ein bestimmtes Stellwerkssystem kann verschiedene Arten von Weichen, Signalen und Gleisfreimeldesystemen umfassen. Die Simulation dieser streckenseitigen Elemente ist eine Herausforderung, da sie je nach Alter, Generation und Elementtyp oft sehr genaue Eigenschaften aufweisen. Falls erforderlich, müssen auch spezifische Merkmale für eine einzelne Elementart definiert werden. Es ist wichtig, diese Elemente und ihre Eigenschaften gut zu kennen, und es ist sinnvoll, sich mit Kunden auszutauschen, die diese Geräte gewartet haben.



Bild 4: Stellwerkshardware im Einbauschränk
 Fig. 4: The interlocking hardware in the cabinet

view. The simulation environment is independent of the actual systems, so any changes in the real environment that are outside of the system, but have a direct impact on its functions, can be managed independently. It is important to understand that the simulations will not be able to perform scenarios that are linked to information from any systems that are unavailable in the simulation environment.

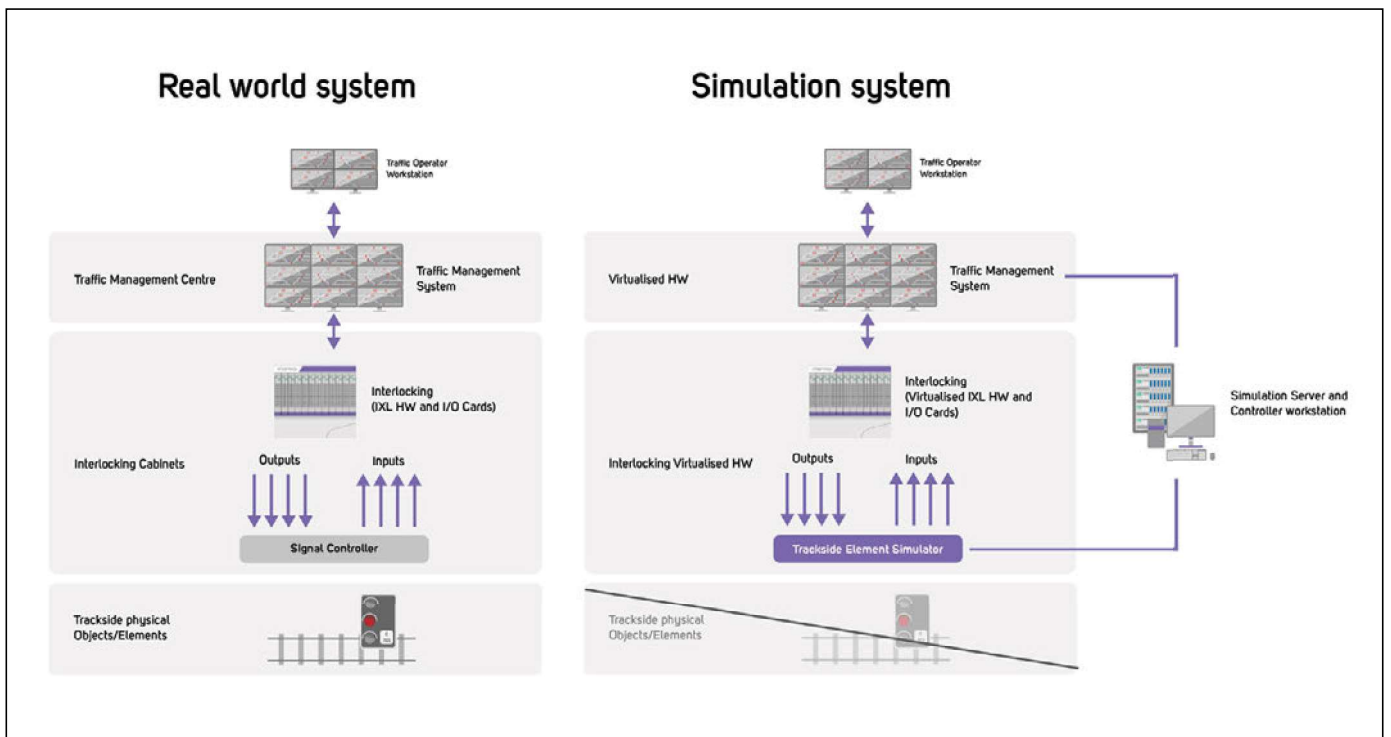


Bild 5: Reales System vs. Simulationssystem
 Fig. 5: A real-world system vs a simulation system

Diese simulierten streckenseitigen Elemente werden dann durch das Stellwerk als streckenseitiges Element gesteuert. Damit steht eine vollständige Stellwerksimulationsumgebung zur Verfügung, die in der Simulationsumgebung verwendet werden kann.

4 Zugsimulationen

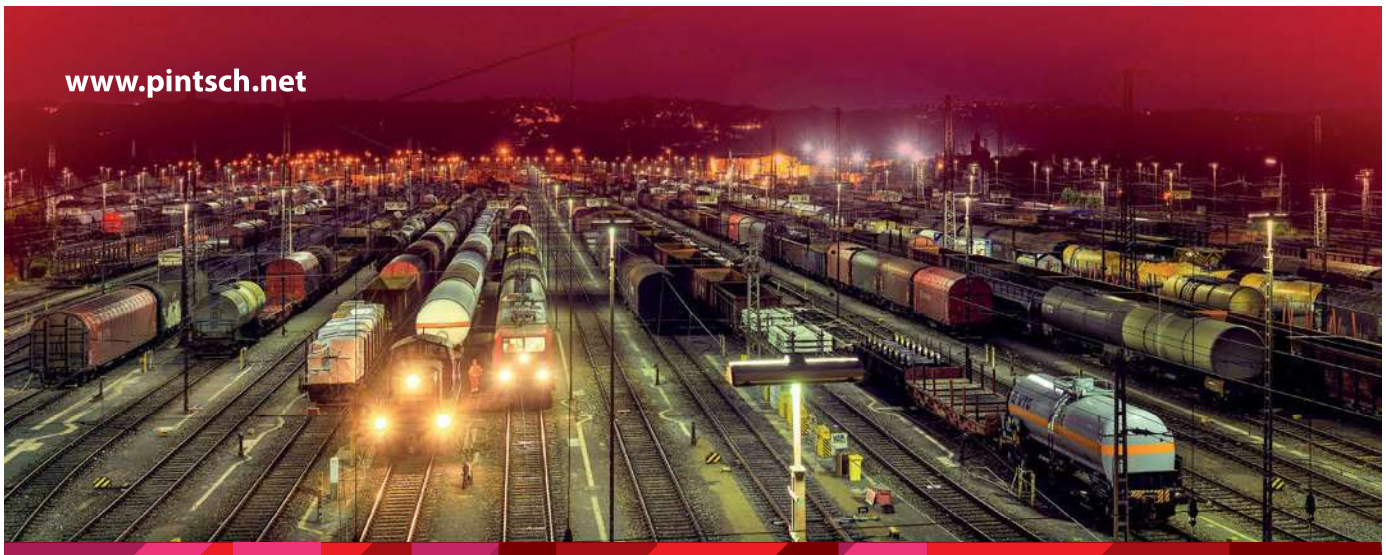
Der Zugsimulationsprozess umfasst die Simulation eines Zuges mit seinen genauen Eigenschaften und das Fahren dieses Zuges mithilfe von simulierten Streckenelementen. Die grundlegende Funktion eines Zugsimulators besteht darin, Züge auf simulierten Strecken zu fahren. Diese Züge können automatisch mithilfe des Fahrplans erstellt werden oder vom Benutzer bei der Erstellung eines bestimmten Simulationsszenarios zur Simulation hinzugefügt werden. Die Züge erscheinen weiterhin im Schienennetz auf Basis des verfügbaren Fahrplans und können auf den virtuellen Gleisen fahren, die von simulierten Streckenelementen gesteuert werden. Zugsimulatoren ahmen die physikalischen Eigenschaften von Zügen nach. Diese Simulatoren verarbeiten Informationen wie die Traktionsdaten, die Zusammensetzung und den Typ des Zuges. Anhand dieser Informationen kann der Simulator die Züge anhand dieser physikalischen Merkmale starten, fahren und anhalten. Das bedeutet, dass die Beschleunigung, das Abbremsen und das Anhalten des Zuges auf den realen Eigenschaften des Zuges beruhen.

3 Interlocking and trackside element simulations

One of the challenges in building a traffic management simulation environment involves maintaining a system functionality that is similar to that of the original systems. This is a challenge for systems such as interlockings that run on dedicated hardware (fig. 4). Such challenges can be overcome using hardware and software virtualisation technologies. In addition, a multi-vendor interlocking solution where different vendors have implemented the same IM requirement, but based on their own internal technology choices and implementation details, can pose a greater challenge.

One aspect that needs to be addressed in the simulation of the interlocking system is the control of the physical trackside elements. A given interlocking system can have numerous types of switches, signals and track vacancy detection systems. The simulation of these trackside elements is challenging as they often have very precise characteristics according to their age, generation and element type. If deemed necessary, specific characteristics must also be defined for each individual element type. It is important to have a good understanding of such elements and their characteristics and it is helpful to have discussions with customers who have maintained these types of devices.

The interlocking then controls these simulated trackside elements as trackside elements. This provides a complete interlocking simulation environment that can be used in the simulation environment.



Systemlösungen für die Bahninfrastruktur

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| ● Bahnübergangstechnik | PINPROTEGIO |
| ● Achszähltechnik | PINCLIRIO |
| ● Stellwerks- und Rangiertechnik | PINMOVIO |
| ● Weichenantrieb | PINMOVIO |
| ● Signale | PINLUXON |
| ● Fördertechnik | PINPOSITON |
| ● Weichenheizungen | PINCALIO |
| ● Diagnose | PINDIAGON |

PINTSCH
Safety for Rail

5 Verkehrssimulationen: Geplanter Ansatz

In der Wirklichkeit kann eine Simulation nur so gut sein wie die Daten und Systemkomponenten, mit denen sie erstellt wurde. Wenn wir die bestehenden Systeme wiederverwenden und die externen Informationen aus den realen Beispielen zur Verfügung stellen können, können wir davon ausgehen, dass die Simulationen Ergebnisse liefern, die der Realität entsprechen.

Mipro baut für einen seiner Kunden einen kompletten Streckenelements-Simulator, bei dem einzelne Elemente an die Umgebung des Kunden angepasst werden können. Unter normalen Bedingungen verhalten sich diese Elemente ähnlich wie ein echtes Streckenelement. Wir haben eine Benutzeroberfläche entwickelt, die es den Endbenutzern ermöglicht, Fehler für diese einzelnen Streckenelemente zu erstellen, die vom Stellwerkssystem erkannt werden können. Die Software-Logik des Stellwerks steuert diese Elemente nach Sicherheitsprinzipien und alarmiert das Verkehrsleitsystem. Die Verkehrsbetreiber können über ihre simulierte Verkehrsleitsystem-schnittstelle die erforderlichen Maßnahmen ergreifen, um den reibungslosen Ablauf des Schienenverkehrs zu gewährleisten (Bild 5). Als Teil der Simulationsumgebung hat Mipro auch einen Zugsimulator gebaut, der die Züge auf den simulierten Gleiselementen steuert. Dieser Simulator kann die Züge entsprechend den Traktionsinformationen beschleunigen und abbremsen. Er kann auch die Taktfrequenz erhöhen oder verringern, um die Simulationen zu einem bestimmten Zeitpunkt schneller oder langsamer laufen zu lassen und die Konflikte in den Simulationsszenarien in der Zukunft zu erkennen. Züge können automatisch im Schienennetz nach einem vorgegebenen Fahrplanszenario oder einem vom Benutzer erstellten Szenario erstellt werden. Sobald die Züge im Netz angelegt sind, beginnt das Automatisierungsmodul des Verkehrsleitsystems damit, die entsprechenden Fahrtrouten für die Züge zu erstellen. Der Zugsimulator erkennt die Signaländerungen anhand der Zustände der streckenseitigen Elemente und beginnt mit der Beschleunigung der Züge. Die physikalischen Eigenschaften der Gleise, wie Kurven und Geschwindigkeitsbegrenzungen, sind definiert und werden beim Betrieb eines Zuges beachtet, aber auch Ausnahmen können im System erstellt werden, um ein bestimmtes Szenario zu simulieren.

6 Ausblick

Der Aufbau einer realen Verkehrsmanagementsimulation ist eine komplexe Aufgabe, insbesondere wenn die Simulationsumgebung die physikalischen Eigenschaften aller Systeme und streckenseitigen Elemente verschiedener Generationen berücksichtigen muss. Die Wechselwirkungen zwischen allen Komponenten einer Simulationsumgebung müssen im Detail identifiziert werden, und es muss dann entschieden werden, ob ein Kompromiss verwendet oder ein detailliertes Modell für die Wechselwirkung implementiert werden soll. Das Wichtigste ist, die Mindestanforderungen zu ermitteln und dann je nach Bedarf weitere Systeme und Funktionen hinzuzufügen, um die Simulationsumgebung zu verbessern. ■

AUTOR | AUTHOR

Omair Javed
Produktmanager Verkehrsmanagement / *Product manager traffic management*
Mipro Oy
Anschrift / Address: Bertel Jungin aukio 1, FI-02300 Espoo
E-Mail: omair.javed@mipro.fi

4 Train simulations

The train simulation process includes simulating a train with accurate characteristics and driving it with the help of simulated trackside elements. The basic functionality of a train simulator involves creating trains on simulated tracks. These trains can be created automatically using the timetable or can be added to the simulation by user when creating a specific simulation scenario. The trains will continue to appear in the rail network with the available timetable and can run on the virtual tracks controlled by the simulated trackside elements. Train simulators mimic the physical characteristics of trains. These simulators take in information such as the train's traction information, composition and type. The simulator can use this information to start, run and stop the trains using these physical characteristics. This means that the train acceleration, deceleration and braking is based on the train's real characteristics.

5 Traffic simulations: the built approach

In the real world, a simulation can only be as good as the data and system components used to create it. If we are able to reuse existing systems and provide the external information from real-world examples, we can expect the simulations to deliver results that come close to reality.

Mipro is building a complete trackside element simulator for one of its customers, where the individual elements can be adapted to the customer's environment. These elements will behave similarly to a real-life trackside element under normal conditions. A user interface has been developed to provide end users with a way to create faults for these individual trackside elements that can be detected by the interlocking system. The interlocking's software logic will manage these elements according to the safety principles and alert the traffic management system. The traffic operators can use the simulated traffic management system interface to take the necessary action in order to ensure the smooth flow of the rail traffic (fig. 5).

As part of the simulation environment, Mipro has also built a train simulator that manages the trains at the simulated trackside elements. It can accelerate and decelerate the trains according to the traction information. It can also increase or decrease the clock speed to run simulations faster or slower at any given time and identify any conflicts in the future simulation scenarios. Trains can be automatically created in the rail network according to the provided timetable scenario or the scenario provided by the user. Once the trains have been created in the network, the traffic management system's automation module will start creating the routes for the trains accordingly. The train simulator detects the signal changes from the trackside element statuses and starts accelerating the trains. The physical characteristics of the tracks, such as curves and speed limits, are defined and followed when running the train, but exceptions can be created in the system to simulate a specific scenario.

6 The way forward

Building a real-world traffic management simulation is a complex task, especially when the simulation environment needs to consider the physical characteristics of all the systems and trackside elements from different generations. The interactions between all the components in a simulation environment need to be identified in detail and an agreement then has to be reached on whether to use a compromise or to implement a detailed interaction model. The important thing is to identify the minimum requirements and then to add more systems and features as needed in order to improve the simulation environment. ■