

RTCSIM

Ein innovativer, erweiterbarer Rechenkern für Fahrplanvalidierung und Simulation

Dipl.-Math. Rolf Gooßmann
Dr. Tobias Polzin

HaCon Ingenieurgesellschaft mbH

RTCSIM -Ein innovativer, erweiterbarer Rechenkern für Fahrplanvalidierung und Simulation

Einführung

Was bedeutet „Fahrplan-Simulation“?

Unter Rechner gestützter Fahrplan-Simulation versteht man den Nachvollzug eines Betriebsablaufs, der durch einen vorgegebenen Fahrplan induziert wird. Dieser Ablauf kann analysiert und bewertet werden.

Was unterscheidet „synchrone“ und „asynchrone“ Fahrplan-Simulation?

In synchronen Simulationsverfahren werden sämtliche Zugbewegungen entsprechend einer laufenden Modellzeit parallel fortgeschrieben. Ein integrierter Dispositionsalgorithmus steuert die Betriebsabläufe in Abhängigkeit von der jeweiligen Betriebssituation, um die Folgen gegenseitiger Behinderungen zu minimieren.

Die asynchronen Verfahren basieren auf dem sukzessiven Einlegen von Sperrzeitentreppen in (digitale) Bearbeitungsblätter. Eine Disposition erfolgt bei den asynchronen Verfahren immer dann, wenn Sperrtreppenüberschneidungen (Konflikte) zweier Züge auftreten.

Was sind die Einsatzfelder?

Die Einsatzfelder der Simulationsverfahren lassen sich nach den jeweiligen Planungshorizonten wie folgt gliedern:

- Strategische Vorplanung (>5 Jahre): Infrastruktur-Bemessung, Entwicklung und/oder Überprüfung neuer Betriebskonzepte, Kapazitätsanalysen
- LTP (Long Term Planning; 5 Jahre bis erster Gültigkeitstag): Unterstützung bei der Herstellung eines konfliktfreien Produktionsplanes mit möglichst guter Fahrplan-Qualität
- STP (Short Term Planning; unterjährige Planung bis 48h vor Betriebszeitpunkt): Unterstützung bei Dispositionsentscheidungen und Ableitung/Überprüfung von Fahrplanänderungen
- VSTP (Very Short Term Planning 48h bis 0h vor Betriebszeitpunkt): Forecast-Analyse und Anzeige (automatische Disposition, Dispositionsunterstützung)
- Retrospektiv: Interpolation (z.B. mittels UIC Broker Interface, Soll-Ist-Abweichung), Ableitung statistischer Kenngrößen und Verspätungsverteilungen, Optimierung des Fahrplanes sowie der Planungs- und Betriebsregeln.

Die Sicht der Fahrplan-Planer

Die Arbeit der Fahrplan-Planer ist diversen Randbedingungen des Geschäfts-Prozesses unterworfen, z.B.:

- Fristen bei der Bearbeitung von Fahrplananfragen der Betreiber und dem daraus resultierenden Zeitdruck
- Anforderungen zur Pünktlichkeit und wirtschaftliche Auswirkungen von Verspätungen
- Zunehmende Nutzung der Infrastruktur von Strecken- und insbesondere Bahnhofsbereichen
- Notwendigkeit von Spielräumen für kurzfristige Änderungen (z.B. für kurzfristiges Einlegen zusätzlicher Güterzüge)
- Allgemeine Regeln und Vorschriften für die Kommunikation, Fahrplan-Planung und Betrieb
- Umsetzung spezifischer Fahrplananfragen der Betreiber
- Erfahrung und Wissen über den realen Betrieb, beziehungsweise Wissenslücken
- Der Planer steht also vor der Aufgabe, mit beschränkten Ressourcen einen Fahrplan herzustellen, der vielfältigen Ansprüchen gerecht werden muss.

Die Fahrplanqualität

In der Praxis bedeutet dies, nicht nur einen „realistischen“, d.h. fahrbaren und regelkonformen Plan zu erarbeiten, sondern diesen Plan auch möglichst robust gegenüber etwaigen Störungen zu gestalten. Ein gestörter Betrieb, welcher beispielsweise durch Zugverspätungen oder Umleitungen bedingt sein kann, soll nach Möglichkeit schnell wieder zum planmäßigen Ablauf zurückkehren können. Diese „Robustheit“ kann unter anderem durch Zeit- oder Kapazitätsreserven, die im Plan enthalten sind, sichergestellt werden. Die Robustheit eines Fahrplans ist wesentlicher Bestandteil der „Fahrplanqualität“. Die Überprüfung eines Fahrplanes hinsichtlich seiner Fahrplanqualität nennt man „Fahrplanvalidierung“.

Um den Planungsprozess mit seinen häufigen Planänderungen optimal abwickeln zu können, wird ein Hilfsmittel benötigt, welches die Fahrplanvalidierung in kurzer Zeit gestattet.

TPS/STRAX: Integration von Fahrplanvalidierungs-Tools in Fahrplan-Produktionssysteme

Die dänische Bahn hat im Jahre 1999 das Fahrplan-Produktionssystem *TPS/STRAX (Timetable Planning System)* bei der HaCon GmbH in Auftrag gegeben. Bei der Entwicklung des Systems wurde seinerzeit die Basisfunktionalität zur Fahrzeitberechnung, Sperrtreppenberechnung und Konflikterkennung des Simulationstools *UX-SIMU* als Kernmodul integriert. *UX-SIMU* wurde bis 2000 in zahlreichen Untersuchungen als Simulationstool für Infrastrukturplanung und Fahrplanvalidierung parallel zum alten Fahrplan-Produktionssystem in Dänemark eingesetzt. Mittlerweile wird - sowohl beim dänischen Netz- wie auch beim Hauptbetreiber DSB - der Produktions-Fahrplan auf der Grundlage netzweiter mikroskopischer Infrastrukturdaten mit *TPS/STRAX* im vierten Jahr erfolgreich bearbeitet.

Um ein Simulationsmodell als Validierungsverfahren optimal einsetzen zu können, ist ein hohes Maß an Integration in die jeweiligen Produktionssysteme anzustreben. Hierdurch wird die erforderliche Daten-Aktualität und Daten-Korrektheit gewährleistet, sowie eine schnelle Bearbeitung ohne Schnittstellen- oder Konvertierungswiderstände möglich. Dies ist insbesondere bei der unterjährigen Planung von hoher Bedeutung, weil gerade in dieser Planungsphase Planänderungen häufig unter einem hohen Zeitdruck vorzunehmen sind.

Um die zukünftigen Anforderungen der dänischen Kunden an eine in den Planungsprozess integrierte, hochwertige Fahrplanvalidierung erfüllen zu können, hat HaCon sich rechtzeitig entschieden, das TPS/STRAX-Kernmodul auf eine neue, moderne Basis umzustellen. Das so entstandene erweiterbare Kernmodul *RTCSIM* ist seit 2 Monaten in das Produktionssystem *TPS/STRAX* integriert.

Darüber hinaus ist der Einsatz von *RTCSIM* aufgrund seiner Modularität auch für andere Zwecke und Plattformen vorgesehen.

RTCSIM

Anforderungen an die Entwicklung

Die folgenden allgemeinen Anforderungen an ein zeitgemäßes Simulationsverfahren zur Fahrplan-Validierung wurden bei der Entwicklung von *RTCSIM* zu Grunde gelegt:

- Das Simulationsverhalten soll „vernünftig“, nachvollziehbar und reproduzierbar sein.
- Die manuelle Interaktion soll minimiert werden.
- Die Simulation soll Ergebnisse produzieren, die den geforderten Aufgabenstellungen gerecht werden.
- Die Simulation soll nicht besser sein als die Realität (außer zur Optimierung des Betriebsablaufs).

Mit der Entwicklung von *RTCSIM* wurde auch das Ziel verfolgt, bereits bekannte Schwächen oder Probleme bestehender Verfahren anzugehen. Diese betreffen vor allem das intransparente Verhalten von Dispositionsalgorithmen, z.B. auf eingleisigen Strecken, oder das z.T. unzureichende Verhalten dieser Algorithmen, z.B. auf mehrgleisigen Abschnitten. Darüber hinaus sollte die Abbildung neuer Sicherungstechniken durch eine entsprechende Modularität erleichtert werden.

Modularität und ihre Auswirkungen

Modularität ist ein wichtiges Paradigma in der Softwareentwicklung: Modulare Systeme lassen sich besser entwickeln, warten, testen und sind offener für zukünftige Erweiterungen.

In *RTCSIM* wird Modularität maßgeblich durch die Trennung der Komponenten Sicherungstechnik, Belegungsinformation, Disposition und Fahrdynamik erreicht. Darüber hinaus ist der eigentliche Simulationsprozess in *RTCSIM* von der Darstellungsfunktion konsequent losgelöst. Statt die jeweiligen, sich bei der Simulation ergebenden Zustände direkt per Zuganimation darzustellen, wird ein Ausgabedatenstrom erzeugt, der die jeweiligen Zustandsveränderungen und die einhergehenden Ereignisse chronologisch beschreibt. Dieser Datenstrom kann dann entweder in Form einer Datei (*Simulation Event Protocol, SEP*)

oder direkt über Datenkanäle nebenläufig weiterverarbeitet werden, um - wie im Fall der Integration von *RTCSIM* in *TPS/STRAX* - eine Software-Komponente zur Zuanimation zu speisen. Diese Möglichkeit bietet die folgenden Vorteile:

- Erhöhte Produktivität bei der Fahrplan-Validierung: Es ist nunmehr möglich, beliebig im Simulationsprozess hin- und herzuspringen und kritische Sequenzen beliebig oft zu wiederholen ohne den gesamten Rechenprozess neu starten zu müssen.
- Verbesserte Qualitätssicherung und Handhabung: Die Simulationsprozesse können als Daten in Form von Binär- oder XML-Dateien archiviert werden und unabhängig von den jeweiligen Release-Ständen der Validierungstools korrekt zu jeder Zeit wiedergegeben und analysiert werden.
- Performance: Die Trennung von Berechnung und Darstellung ermöglicht eine verbesserte Lastverteilung mittels Konfiguration eines System-Service zur Simulationsberechnung, welcher skalierbar auf mehreren rechenstarken Prozessoren oder Rechnern für eine Vielzahl von Client-Arbeitsplätzen realisiert werden kann. Desweiteren können Mehrfachberechnungen vermieden werden und statt dessen auf die bereits existierenden SEPs zurückgegriffen werden.

Performance

Auch wenn die Vergleichbarkeit von Benchmark-Tests wegen der starken Abhängigkeiten von verwendeten Signalisierungstechniken, der Fahrplanqualität sowie vom gewählten Detaillierungsgrad sehr problematisch ist, können die folgenden Angaben einen ungefähren Eindruck von der derzeitigen Leistungsfähigkeit des neuen Moduls geben, die aber noch weiter verbessert wird.

Als Testinstanz wurde ein aktuelles Projekt aus Dänemark mit ca. 3.000 Zügen und ca. 250.000 Zugkilometern verwendet und mit einem Standard PC (Pentium 4 Rechner mit 3 GHz) gerechnet.

- Fahrdynamik und Sperrtreppenberechnung: ca. 13.000 Zugkilometer pro Sekunde
- Simulation eines konfliktfreien Fahrplans: ca. 6.000 Zugkilometer pro Sekunde
- Simulation eines konfliktbehafteten Fahrplans: ca. 4.000 Zugkilometer pro Sekunde

Regelbasierte Disposition

Ein Ansatz für die Disposition, der das Ziel hat, den drei gegenläufigen Anforderungen Nachvollziehbarkeit, einfache Handhabung und umfassende Einflussmöglichkeiten gerecht zu werden, ist ein zweistufiges Regelsystem: Aus hochabstrahierten Regeln (*Meta-Control-Laws*) werden im Vorfeld der Simulation (oder ad hoc während der Simulation) konkrete Dispositionsregeln (*Control-Laws*) erzeugt. Mit diesen Regeln wird der Dispositionsalgorithmus gesteuert. Jede konkrete dispositive Entscheidung lässt sich somit auf die Anwendung einer Regel auf die derzeitige Simulationssituation zurückführen, was nachvollziehbar protokolliert werden kann. Neben der Möglichkeit *Control-Laws* automatisch erzeugen zu lassen (Handhabbarkeit), gibt es künftig auch die Möglichkeit, durch die manuelle Bearbeitung der *Control-Laws* umfassenden Einfluss auf das Dispositionsverhalten zu nehmen.

Offene, erweiterbare Kernmodule für Fahrplan-Validierungs-Tools

Die Anforderungen an Modularität und Offenheit beschränken sich nicht nur auf die Anpassungsfähigkeit an geänderte technische Randbedingungen, wie zum Beispiel neue Sicherungssysteme. Wir verstehen hierunter auch die Möglichkeit, neue Dispositionsstrategien zu entwickeln und zu untersuchen. Im Idealfall sind derartige Forschungsarbeiten und Feinjustierungen des Systems auch Dritten möglich.

Zu diesem Zweck soll *RTCSIM* künftig eine entsprechende Schnittstelle aufweisen, die die Einbindung externer Dispositionsverfahren etwa mittels einer Script-Sprachen Schnittstelle erlaubt.

Als Datengrundlage werden sowohl die jeweils aktuelle Simulationssituation als auch die Informationen aus der Soll-Sperrtreppenermittlung zur Verfügung stehen. Dies ist ein Beispiel für das Aufeinanderzubewegen von synchronen und asynchronen Simulationsverfahren.

Aktueller Stand und Ausblick

Mit dem Modul *RTCSIM* hat *TPS/STRAX* eine neue, zukunftssichere Basis erhalten. Die zur Fahrplankonstruktion nötigen Funktionen wie fahrdynamische Berechnungen und Konflikterkennung sind vollständig implementiert und in Dänemark im Einsatz. Die integrierte Fahrplanvalidierung ist in Grundfunktionen vorhanden, allerdings sind die Möglichkeiten zur Disposition und zur Auswertung noch sehr eingeschränkt. Auch werden noch nicht alle *RTCSIM* Möglichkeiten von *TPS/STRAX* ausgenutzt.

Der Hauptarbeitsschwerpunkt liegt derzeit in der Erweiterung der Auswertungsfunktionen und der Realisation der hier angesprochenen, vielversprechenden Dispositionsansätze. Daneben spielen die Anpassung an spezielle Kundenwünsche, zum Beispiel zusätzliche Sicherungssysteme eine Rolle.

Nach dem derzeitigen Stand der Planung soll am Ende des Jahres ein neuer Schritt hin zu einem integrierten Fahrplan-Konstruktions- und Validierungs-System vorzeigbar sein.