

# Methoden zur Initialisierung von Online-Simulationsmodellen

Andre Hanisch  
Juri Tolujew  
{Andre.Hanisch/Tolujew}@iff.fraunhofer.de  
Fraunhofer Institut IFF Magdeburg  
Sandtorstr. 22 / 39106 Magdeburg

Thomas Schulze  
[tom@iti.cs.uni-magdeburg.de](mailto:tom@iti.cs.uni-magdeburg.de)  
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg / Fakultät für Informatik  
PSF4120 / 39016 Magdeburg

## Kurzfassung

Online-Simulationsmodelle bilden real existierende Systeme ab und werden bei Start der Simulation mit dem aktuellen Zustand des realen Systems initialisiert. Typische Einsatzgebiete von Online-Simulationsmodellen sind Systeme zur operativen Planung und Steuerung sowie simulationsbasierte Frühwarnsysteme. Zum Start der Simulation muss das Modell den aktuellen Zustand des realen Systems repräsentieren. Im einfachen Fall kann jeder Modellvariablen ein Messwert aus der Realität zugeordnet werden. Aber diese Vereinfachung lässt sich nicht auf alle Anwendungen übertragen. Die realen Bedingungen sind hingegen durch Unvollständigkeit und Unkorrektheit der realen Daten gekennzeichnet. Im Beitrag werden zwei Methoden zur Initialisierung vorgestellt, um den Fehler bei der Initialisierung, bedingt durch die Unvollständigkeit der Online-Daten, zu minimieren. Als Ergebnis eines Vergleiches der beiden Methoden, wird zur Reduzierung des Einflusses von nicht verfügbaren Daten die Synchronisationsmethode empfohlen. Ergebnisse einer Fallstudie und ein Ausblick beschließen den Beitrag.

## 1 Einleitung

Eines der klassischen Anwendungsgebiete der diskreten Simulation ist die Unterstützung bei Planungsaktivitäten mit einem langen Zeithorizont. Das Ziel dabei ist das Sammeln von Erkenntnissen über ein geplantes oder über ein zu veränderndes real existierendes System. Die verwendeten Simulationsmodelle werden auch als Offline-Modelle bezeichnet, d.h. sie sind nicht direkt mit den realen Prozessen innerhalb des zu modellierenden Systems verbunden. Diese Modelle werden ausschließlich zur Unterstützung der Entscheidungsprozesse verwendet, eine Wiederverwendung der Modelle für Steuerungsaufgaben als sog. Betreibermodelle erfolgt größtenteils nicht.

Im Gegensatz dazu müssen beim Betrieb von realen Systemen ständig Entscheidungen getroffen werden. Es ist zu beobachten, dass die Komplexität der zu steuernden Systeme permanent wächst und damit sind erhöhte Anforderungen an effiziente Steuerstrategien verbunden. Die verwendeten Steuerstrategien lassen sich hinsichtlich der verwendeten

Methoden in heuristik- und gleichungsbasierte Verfahren sowie in die Klasse der simulationsbasierten Verfahren einteilen. Simulationsbasierte Verfahren berücksichtigen den aktuellen Zustand des realen Systems und können, besonders für komplexe Modelle, dem Entscheidungsträger einen höheren Unterstützungsgrad geben.

Die in diesem Kontext eingesetzten Simulationsmodelle werden als Online-Simulationsmodelle bezeichnet. Eine spezielle Fragestellung im Umgang mit Online-Simulationsmodellen ist deren Initialisierung. Bei der Initialisierung müssen den Systemvariablen im Modell die entsprechenden Online-Daten aus der Realität zugewiesen werden. Probleme treten auf, wenn die real gemessenen Daten fehlerhaft sind oder die für das Modell benötigten Daten in der Realität nicht erfasst werden können. Die Online-Simulationsmodelle werden mit nicht korrekten Daten initialisiert. Der sich daraus ergebende Fehler in den Simulationsergebnissen ist zu minimieren. Im Gegensatz zur klassischen „Non-Terminating“-Simulation kann bei der Online-Simulation keine transiente Phase zum Einschwingen der Modelle verwendet werden.

Der Beitrag beschreibt zwei unterschiedliche Methoden bei der Initialisierung von Online-Simulationsmodellen unter der Bedingung, dass die benötigten Online-Daten nicht korrekt bzw. unvollständig sind. Im Abschnitt 2 dieses Beitrages werden verwandte Arbeiten zur Online-Simulation analysiert und es werden im dritten Abschnitt mögliche Initialisierungsmethoden diskutiert. An einer Fallstudie werden im vierten Abschnitte die beschriebenen Methoden demonstriert. Ein Ausblick im Abschnitt 5 beschließt den Beitrag.

## **2 Online-Simulationsmodelle**

Der Begriff Online-Simulation wird nicht einheitlich verwendet. In der VDI-Richtlinie Simulation [1] wird damit allgemein die Simulation im laufenden Betrieb bezeichnet. Zur Abgrenzung wird in Anlehnung an [2] die folgende Definition gegeben:

Online-Simulation ist die Simulation eines real existierenden Systems auf der Basis eines Simulationsmodells dieses Systems, wobei das Simulationsmodell beim Start online mit dem aktuellen Zustand des realen Systems initialisiert wird und die Simulationsergebnisse in einer hinreichend kurzen Zeit präsentiert.

Anwendungsbereiche von Online-Simulationsmodellen erstrecken sich über operative Planung und Steuerung, Scheduling [3] und simulationsbasierte Frühwarnsysteme [4]. Ein charakteristisches Merkmal dieser Modellklasse ist, dass sie für Entscheidungsaufgaben mit einem kurzen Vorhersagezeitraum verwendet werden. Anwendungen von Online-Simulationen weisen vielfach einen hohen Detaillierungsgrad auf, der durch die gewünschten Ergebnisgrößen geprägt ist. Des Weiteren müssen die Simulationsläufe in ausreichend kurzer Zeit durchgeführt werden. Die verbrauchte Rechenzeit der Simulationen muss in einem vernünftigen Verhältnis zur geforderten Reaktionszeit für die Entscheidungsfindung stehen.

Eine der Hauptaufgaben bei der Online-Simulation ist die Online-Verbindung des Simulationsmodells mit dem realen System. Zum Start der Simulation muss das Modell den aktuellen Zustand des realen Systems repräsentieren. Im einfachen Fall kann jeder Modellvariablen ein Messwert aus der Realität zugeordnet werden. Aber diese Vereinfachung lässt sich nicht auf alle Anwendungen übertragen. Die realen Bedingungen sind durch Unvollständigkeit und Unkorrektheit der realen Daten gekennzeichnet([5], [6]).

### 3 Initialisierung von Online-Simulationsmodellen

In der klassischen Simulation wird das Simulationsmodell üblicherweise mit „empty“ und/oder „idle“ initialisiert. In Abhängigkeit von der Art des Modells hinsichtlich der Ergebnisanalyse wird eine transiente Phase zum Einschwingen des Modells und zum Zurücksetzen der Statistiken eingeführt. Bei der Online-Simulation kann keine Einschwingphase berücksichtigt werden.

Es ergeben sich zwei Möglichkeiten zum Zugriff auf die Daten des realen Systems: das direkte Messen oder Erfassen der Daten mittels Sensoren oder der Zugriff auf vorhandene Informationssysteme, wie beispielsweise eine Data-Warehouse. Dabei lassen sich allgemein die Daten durch zwei Merkmale charakterisieren: *Verfügbarkeit* und *Qualität*. Das Merkmal Verfügbarkeit beschreibt, ob die benötigten Daten vollständig oder nur zum Teil existieren. Das andere Merkmal Qualität spezifiziert die Korrektheit der Daten. Hier sind zwei Formen zu unterscheiden: *Messfehler* und *Aktualität* der Daten. Mess- und Erfassungsfehler sind unvermeidbare Begleiterscheinungen bei der Datenerfassung mittels Sensoren. Die Aktualität der Daten spezifiziert die Differenz zwischen dem realen Zeitpunkt der Modellinitialisierung und dem Messzeitpunkt der Daten. Der letzte Punkt spielt eine besondere Rolle bei der Nutzung von Informationssystemen als Datenquelle zur Initialisierung.

Der Idealfall besteht aus einer Kombination von komplett verfügbaren und qualitativ hochwertigen Daten. Hingegen ist die Kombination aus unvollständig verfügbaren und qualitativ niederwertigen Daten typisch für Anwendungen von Online-Simulationen. Eine Initialisierung des Modells mit diesen fehlerhaften Daten führt zu fehlerbehafteten Ergebnissen der Simulation. Bei der klassischen Non-Terminating-Simulation werden die Auswirkungen dieser Fehler durch die Verwendung einer „warm-up“-Phase und eines langen Simulationslaufes minimiert. Diese Vorgehensweise kann bei der Online-Simulation nicht angewandt werden, da bei diesen Modellen nicht die Ermittlung der Parameter für den „Steady-State“-Zustand, sondern die Vorhersage des Verhaltens des realen Systems für einen kurzen Zeitraum im Mittelpunkt steht. Die Simulation muss ohne Einschwingphase starten und die Länge der Simulation ist entsprechend des Vorhersagehorizonts begrenzt. Daraus ergibt sich die Forderung, durch geeignete Methoden die Fehler bei der Initialisierung zu minimieren.

Es wird angenommen, dass die erfassten Messwerte korrekt und aktuell sind. Bezeichnet man mit  $T_i$  einen realen Zeitpunkt, mit  $RZ(T_i)$  den Zustand des realen Systems zum realen Zeitpunkt  $T_i$ , mit  $MZ(T_i)$  den Zustand des Modells zum realen Zeitpunkt  $T_i$  sowie mit  $\Delta Z(T_i)$  die Differenz zwischen dem Zustand des realen und simulierten Systems, so ist das Ziel der Initialisierung den Betrag der Differenz zu minimieren (Gleichungen 1 und 2).

$$\Delta Z(T_i) = RZ(T_i) - MZ(T_i) \quad (1)$$

$$Q = |\Delta Z(T_i)| \xrightarrow{MZ(T_i)} \min \quad (2)$$

Es werden zwei verschiedene Initialisierungsmethoden vorgestellt, um dieses Ziel zu erreichen:

- Synchronisation eines Parent-Modells auf der Basis der verfügbaren Daten und die Erzeugung von Child-Modellen sowie

- Modellerzeugung einschließlich Initialisierung basierend auf den verfügbaren aktuellen Daten.

### 3.1 Synchronisation eines Parent-Modells

Die Grundidee dieses Ansatzes besteht darin, das ein Parent-Modell durch die aktuellen Online-Daten aktualisiert wird und dieses Parent-Modell den Zustand des realen Systems synchron zum realen Prozess abbildet. Basierend auf diesem Parent-Modell werden Child-Modelle abgeleitet, mit denen dann die simulationsbasierte Vorhersage erfolgt. Diese Child-Modelle erben vom Parent-Modell alle Werte für die Modellvariablen. Eine Initialisierung im eigentlichen Sinn findet nicht statt. Während das Parent-Modell seinen Zeitfortschritt synchron mit dem realen System regelt, arbeiten die Child-Modelle nach einem anderen Zeitfortschrittsparadigma. Für die Child-Modelle gilt: so schnell wie möglich.

Bei der Aktualisierung wird das Parent-Modell online mit den aktuellen Daten aus dem realen System versorgt. Diese aktuellen Daten beschreiben die In- und Outputs sowie die Statusinformationen des realen Systems. Unter Verwendung des Modellzustandes  $MZ(T_{i-1})$  zum Zeitpunkt  $T_{i-1}$  und der Inputs  $I(T_i)$  zum Zeitpunkt  $T_i$  berechnet das Modell den Zustand  $MZ(T_i)$  und die Modelloutputs  $MO(T_i)$  zum Zeitpunkt  $T_i$ . Wird eine Differenz zwischen dem realen Zustand  $RZ(T_i)$  und dem Modellzustand  $MZ(T_i)$  oder zwischen den Modelloutputs  $MO(T_i)$  und den realen Outputs  $RO(T_i)$  festgestellt, so ist der Modellzustand zu korrigieren, damit diese Differenz minimiert wird.

Ausgangspunkt für diese Korrektur ist der alte bestätigte Modellzustand  $MZ(T_{i-1})$ . Bei der Korrektur wird auf „im Modell“ gespeichertes Wissen zurückgegriffen. Diese Korrekturen sind modellspezifisch und können nur aus dem Verhalten des realen Systems abgeleitet werden. Die Qualität der Korrektur, d.h. die Größe von  $\Delta Z(T_i)$  ist von der Verfügbarkeit und Qualität der Online-Daten abhängig. Bei einer vollständigen Verfügbarkeit und hoher Datenqualität kann ein kleiner Fehler bei der Initialisierung erreicht werden.

Die Anwendung dieses Ansatzes stellt spezielle Anforderungen an die Funktionalität der verwendeten Simulationssoftware: *Echtzeitfähigkeit* und die *Erzeugung von Child-Modellen*. Die Forderung nach Echtzeitfähigkeit wird von den meisten kommerziellen Simulationssystemen erfüllt. Hingegen sind nur wenige Simulationssysteme in der Lage, eine Kopie des aktuellen Modellzustands als Child-Modell zu speichern und dieses Child-Modell nach einem anderen Zeitfortschrittsparadigma abarbeiten zu lassen. Idealerweise operiert das Child-Modell als selbständiger Prozess des Betriebssystems. Das Simulationssystem eM-Plant unterstützt beispielsweise diese Vorgehensweise.

Eine andere Möglichkeit ist die Emulation des Child-Modells innerhalb des Parent-Modells. Dieser Ansatz erfordert Fähigkeiten des Simulationssystems zum „roll back“ der Simulationszeit und zum Wechseln des Zeitfortschrittsmechanismus innerhalb des Modells. Das Simulationssystem SLX und die Simulationssprache SIMULA verfügen über diese Features. Der Nachteil bei der Emulation besteht darin, dass nicht mehr als ein Child-Modell gleichzeitig ausgeführt werden kann. Eine parallele Ausführung von mehreren Child-Modellen ist somit bei der Emulation nicht möglich.

## 3.2 Modellerzeugung

Die Modellerzeugung einschließlich Initialisierung ist eine weitere Methode. Dieser Ansatz ähnelt der klassischen Simulation. Das Online-Simulationsmodell wird zu bestimmten Zeitpunkten erzeugt, mit den verfügbaren Daten initialisiert und gestartet. Die Implementierung dieses Ansatzes ist sehr einfach. Fehlende Daten zur Initialisierung müssen ergänzt werden. Dieses „Ergänzen“ kann nur modellspezifisch erfolgen.

## 3.3 Vergleich der beiden Methoden

Hauptvorteile des Modellerzeugungsansatzes sind seine einfache Implementierung und die Möglichkeit des zeitlich parallelen Abarbeitens von mehreren Simulationen. Die meisten Simulationssysteme erlauben die Erzeugung von Simulationsmodellen auf der Basis von Textfiles. Der entscheidende Nachteil dieser Methode ist, dass für eine hohe Qualität bei der Initialisierung die Online-Daten vollständig erfasst werden müssen. Fehlende Daten müssen hingegen berechnet oder geschätzt werden. Die Ableitung der notwendigen Algorithmen aus dem Modellkontext zur Bereitstellung der benötigten Daten ist aufwendig.

Im Gegensatz dazu kann die Synchronisationsmethode besser auf fehlende Daten reagieren. Eine Voraussetzung dafür ist, dass zum Zeitpunkt  $T_0$  von einem vollständig synchronisierten Modell ausgegangen wird. Diese Bedingung kann beispielsweise bei der Simulation von Personenströmen in Bahnhöfen erfüllt werden. Zu einem Zeitpunkt sind alle Ein- und Ausgänge geschlossen und es befinden sich keine Personen im Bahnhof. Bei einer Synchronisation zum Zeitpunkt  $T_i > T_0$  wird das Modell auf der Basis des Zeitpunkts  $T_{i-1}$  und der verfügbaren Daten synchronisiert. Zur Schätzung der fehlenden Daten kann hierbei auf zwei Quellen zurückgegriffen werden, die der letzte Modellzustand und die verfügbaren Online-Daten.

## 4 Fallstudie

Am Fraunhofer Institut IFF Magdeburg und der Universität Magdeburg wurde gemeinsam eine Fallstudie zur Online-Simulation entwickelt. Das reale System kann mit einer Bahnhofshalle verglichen werden, die von Personen durch verschiedene Eingänge betreten und Ausgänge verlassen wird. Ein bestimmter Anteil an Personen betritt den Service-Bereich innerhalb der Halle nimmt dort bestimmte Dienste in Anspruch (siehe Bild 1). Sensoren sind an den Ein- und Ausgängen installiert. Sie messen an jeder Tür wie viel Personen in einem Zeitintervall von 5 Minuten ein- und ausgegangen sind. Eine Erfassung der Personen im Service-Bereich kann nicht erfolgen. Das Ziel der Simulation ist die Vorhersage der Personendichte im Service-Bereich. Im Abstand von 5 Minuten werden die aktuellen Online-Daten aus dem realen System übernommen und es werden die entsprechenden Simulation bis zum Ende des Tages gestartet.

Bei der Initialisierung des entsprechenden Simulationsmodells kann nicht jeder Modellvariablen ein Online-Messwert zugeordnet werden. Ein Teil der fehlenden Daten konnte aus den verfügbaren Daten direkt berechnet werden. Die anderen fehlenden Daten, wie die Anzahl der Personen auf der Service-Fläche, konnten nicht gemessen oder

berechnet werden. Für diese Fallstudie wurden die beiden beschriebenen Methoden zur Initialisierung umgesetzt.

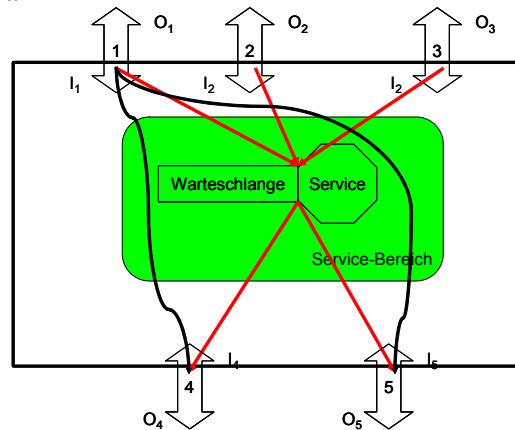


Bild 1: Vereinfachte Struktur des realen Systems

## 5 Ausblick

Die Aspekte Mess- bzw. Erfassungsfehler und Aktualität der Online-Daten und ihre Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse wurden hier nicht behandelt. In weiterführenden Arbeiten muss der Einfluss dieser Aspekte betrachtet werden und es müssen ebenfalls Methoden entwickelt werden, die die Beeinträchtigung der Simulationsergebnisse minimieren.

## 6 Literatur

- [1] *VDI-Richtlin 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen; Grundlagen; Blatt 1.* Beuth-Verlag Berlin 1996.
- [2] *Davis, W. J.: On-Line Simulation: Need and Evolving Research Requirements.* In Handbook of Simulation. Edsited by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. pp-465-516. 1998.
- [3] *Drake, G. and J. Smith : Simulation system for real-time planning, scheduling, and control.* In Proceedings of the Winter Simulation Conference 1996. Eds. J.M. Charnes, D.J. Morrice, D.T. Brunner and J.J. Swain, pp. 194-198.
- [4] *Hanisch, A., Tolujew, J., Raape, U. und Th. Schulze : Online-Simulation für Personenströme in einem Frühwarnsystem.* In Proceedings 17. Symposium Simulationstechnik ASIM 2003, 17.09-20.09.2003 in Magdeburg, (Ed.) Hohmann, SCS International, pp. 221-26.
- [5] *Fowler, J. W. and O. Rose : Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems.* SIMULATION, Sep 2004; 80: 469 - 476.
- [6] *Gonzales, F. G and W. J. Davis: Initializing Online-Simulations from the State of a Distributed System.* In Proceedings of the Winter Simulation Conference 1998. Eds. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, pp 507-513.