

Vorlesungsreihe „Diskrete Simulation“ (Masterkurs)

Alternative und spezielle Modellierungsansätze für zeitdiskrete Systeme

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiedemann
email: wiedem@informatik.htw-dresden.de



HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)
Fachbereich Informatik/Mathematik

Überblick

- **Alternative Modellierungsansätze für diskrete Systeme**
 - Petri-Netze
 - Erweiterte Petri-Netze
- **Modellierung von menschlichen Verhaltensweisen**
 - Anforderungen und Probleme
 - Multiagentensysteme
 - Modellierung des Entscheidungsverhaltens mit Fuzzy Sets
 - Alternative Ansätze

Petri-Netze - Überblick

Petri-Netze – grundlegende Charakteristik

- Modellierungsansatz für parallele und nebenläufige Prozesse mit verteilten Ressourcen mit grafischer Repräsentation und mathematischer Beschreibung
- entwickelt auf der Basis der Automatentheorie in den 60er Jahren (mit starkem deutschen Anteil)
- in der Grundversion keine zeitlichen oder stochastischen Parameter
- verfügbare Algorithmen zur Untersuchung von Petri-Netzen auf Verklemmung (Dead-Locks) und anderen Netz-Parametern

Quellen / Referenzen und Links

- Bücher :
 - Reisig W.: Petrinetze. Modellierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien Vieweg+Teubner, 2010
- Links (mit weiterführenden Links und Quellenangaben) :
 - **Petri Nets World** :
<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>

Petri-Netze - Historische Entwicklung

Erster Ansatz

- in Dissertationsschrift des deutschen Informatiker Carl Adam Petri
- geboren in Leipzig, Dissertation an der TH Darmstadt, später Uni Bonn / Hamburg
- Titel der Diss. „**Kommunikation mit Automaten**“ – neben vielen anderen Lösungsansätzen auch simultane Modelle (Petri-Netze)
- zuerst noch rein theoretisch, später praktische Verwendung in Arbeiten zur Berechnung von Time-Sharing-OS (z.B. am MIT im Institut MAC (später Minsky – AI –Lab)

Weiterentwicklungen

- zur besseren Modellierung von realen Aufgabenstellungen:
 - **Coloured Petri-Nets** zur individuellen Modellierung temporärer Objekte
 - **Timed Petri Nets** zur Berücksichtigung von Zeit und Zufalls
- Standardisierungsansätze der ISO - unter ISO/IEC 15909 im Jahr 2003
 - aktuell Definition und Weiterentwicklung der Petri Net Markup Language (PNML) auf XML-Basis -> siehe <http://www.pnml.org>

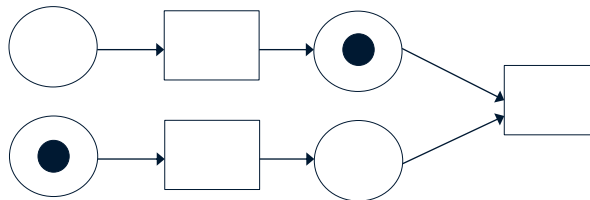
Petri-Netze - Grafische Repräsentation und Begriffe

Grafische Beschreibung und Basisdefinitionen

- **Transitionen** (aktive Komponenten) als Rechtecke
- **Stellen** (passive Komponenten) als Kreise
 - Stellen können Marken (i.d.R. schwarze Punkte) enthalten
- Transitionen und Stellen werden jeweils mit **Kanten** (Pfeile) verbunden

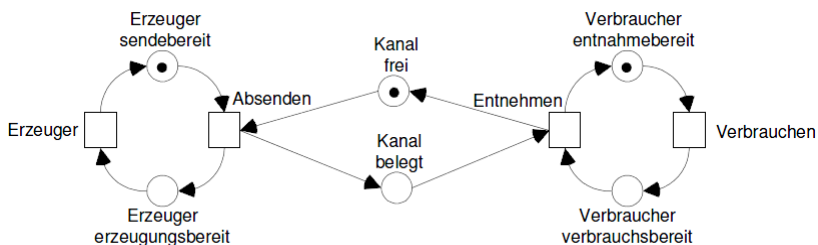
Grundprinzip von Petri-Netzen:

- Transitionen schalten, wenn an allen eingehenden Kanten in den verbundenen Stellen die notwendige Anzahl Marken liegt (Default = 1)



Petri-Netze - Modellierungszuordnungen

- Die Stellen (passive Komponenten wie Plätze, Bedingungen, Kanäle, ...) modellieren **Objektzustände** von Betriebsmitteln, Bedingungen, Queues, Speicher, Behälter, Variablen.
- Die Transitionen (aktive Komponenten wie Ereignisse, Prozesse, ...) modellieren **Aktivitäten**, die Zuständen verändern und damit die Marken durch das System fließen lassen.
- Die Marken modellieren den **aktuellen Zustand** der passiven Komponenten – aktiv (mit Marke) oder inaktiv (ohne Marke).
- Die Kanten zwischen passiven und aktiven Komponenten modellieren **Zusammenhänge** von passiven und aktiven Komponenten



Petri-Netze - Mathematische Repräsentation

Mathematische Beschreibung

Ein Petri-Netz N ist ein Tupel

$$N = (P, T, \text{Pre}, \text{Post})$$

mit

$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$ ist eine Menge von Plätzen (Stellen)

$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$ ist eine Menge von Transitionen

$\text{Pre} \subseteq P \times T$ ist die Menge der gerichteten Kanten
von Plätzen zu Transitionen

$\text{Post} \subseteq T \times P$ ist die Menge der gerichteten Kanten
von Transitionen zu Plätzen

Petri-Netze - Mathematische Repräsentation II

Mathematische Beschreibung (Fortsetzung)

Markierungen M sind definiert als Abbildungen

$$M: P \rightarrow \{0, 1\} \text{ oder allgemeiner } M: P \rightarrow \mathbb{N}$$

welchen den Plätzen eine Anzahl Marken (0 oder 1 oder \mathbb{N}) zuordnet.

Ein Petri-Netz mit

$$N = (P, T, \text{Pre}, \text{Post}, M_0)$$

mit der Anfangsmarkierung M_0 wird als initiales Petri-Netz bezeichnet.

Die Ein- und Ausgangsmengen sind jeweils definiert als:

$$\text{In}(t) = \{p \mid (p, t) \in \text{Pre}\} \text{ - Eingangsplätze der Transition } t$$

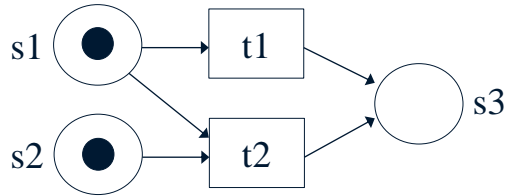
$$\text{Out}(t) = \{p \mid (t, p) \in \text{Post}\} \text{ - Ausgangsplätze der Transition } t$$

$$\text{In}(p) = \{t \mid (t, p) \in \text{Post}\} \text{ - Eingangstransitionen des Platzes } p$$

$$\text{Out}(p) = \{t \mid (p, t) \in \text{Pre}\} \text{ - Ausgangstransitionen des Platzes } p$$

Petri-Netze - Beispiel für eine math. Beschreibung

Das Petri-Netz



wird beschrieben durch

$N = (\mathbf{P}, \mathbf{T}, \mathbf{Pre}, \mathbf{Post}, \mathbf{M0})$ mit

$P = \{s1, s2, s3\}$

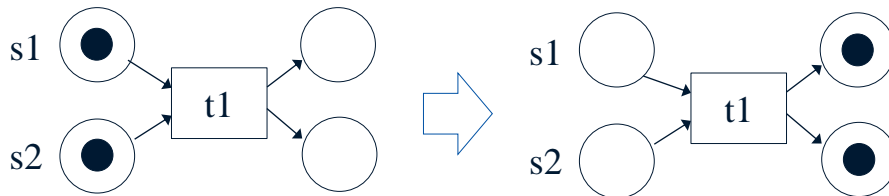
$T = \{t1, t2\}$

$Pre = \{(s1, t1), (s1, t2), (s2, t2)\}$

$Post = \{(t2, s3), (t1, s3)\}$

$M0: P \in N$ mit $M0(s1) = 1, M0(s2) = 1, M0(s3) = 0$

Petri-Netze - Schalten von Transitionen



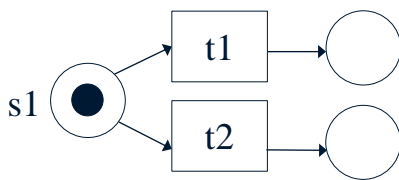
Schaltbedingung : $\forall p \in \mathbf{In}(t) : M(p) > 0$ - alle Eingänge belegt

Schalten von Transitionen:

- es wird jeweils eine Marke von den Eingangsplätzen entnommen und jeweils eine Marke auf den Ausgangsplätzen der Transition abgelegt
- und der neue Zustand M' ergibt sich aus dem alten Zustand M :

$$\begin{aligned} \forall p \in P : M'(p) &= M(p) - 1 \text{ wenn } p \in \mathbf{In}(t) \wedge p \notin \mathbf{Out}(t) \\ &= M(p) + 1 \text{ wenn } p \in \mathbf{Out}(t) \wedge p \notin \mathbf{In}(t) \\ &= M(p) \text{ sonst (keine Änderung)} \end{aligned}$$

Petri-Netze - Konflikte beim Schalten von Transitionen

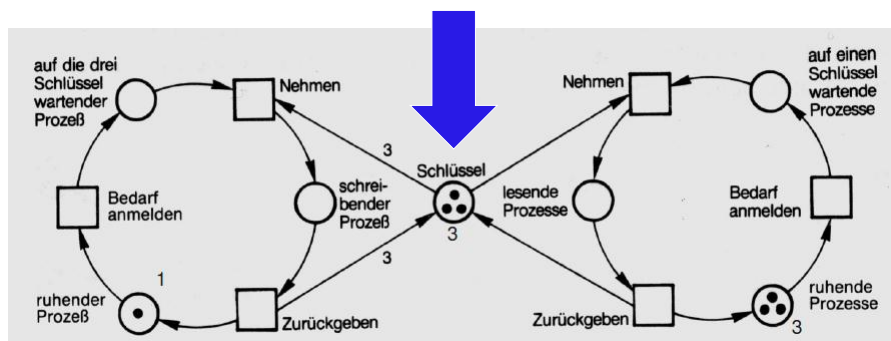


Konflikte:

- Die Transitionen t1 und t2 stehen in Konflikt zueinander, wenn beide schaltbar sind und durch das Schalten der einen Transition die andere nicht mehr schaltbar ist
- **Ein Konflikt stellt einen Nicht-Determinismus im Modell dar, durch den sich unterschiedliches Verhalten ergibt.**
 - Die genaue Spezifikation des konkreten Schaltens kann durch entsprechende Erweiterung der Petri-Netze genauer bestimmt werden !
 - Im Standard-Petri-Netz erfolgt das Schalten quasi zufällig.

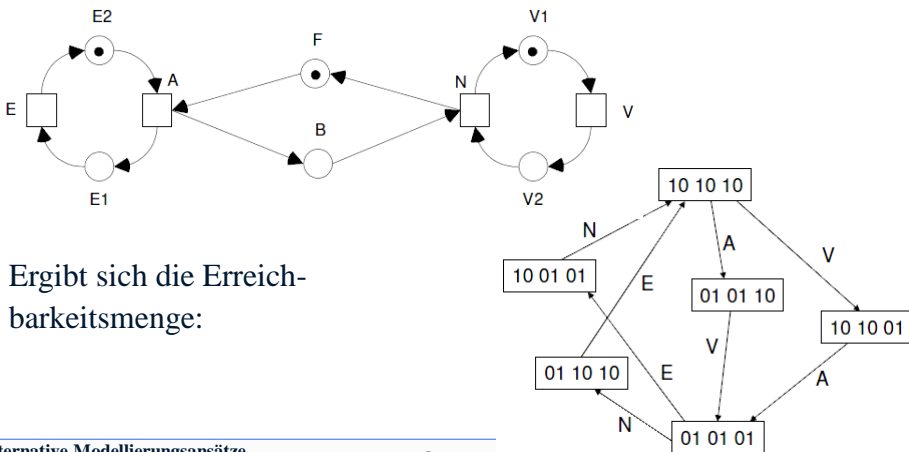
Kapazität von Plätzen und Gewicht von Kanten

- Plätze (Stellen) und Kanten können jeweils in der Kapazität beschränkt werden:
- damit sind Untersuchungen bei beschränkten Ressourcen modellierbar
- Im nachfolgenden Modell ist die Anzahl der Schlüssel auf 3 beschränkt und der linke Prozess benötigt immer 3 Schlüssel !



Erreichbarkeitsgraph und Erreichbarkeitsmenge

- Eine der wichtigsten Eigenschaften von Petri-Netzen ist der **Erreichbarkeitsgraph**.
- Dieser gibt ausgehend von einem Anfangszustand M_0 die Folge der erreichbaren Markierungen an (= Erreichbarkeitsmenge)
- Für das Beispielmodell (Folie ...)



Alternative Modellierungsansätze -

Petri-Netze - Verklemmung, Lebendigkeit und Sicherheit

Analysen von Petri-Netzen und resultierende Eigenschaften:

- Bei einer **Verklemmung** eines Petrinetzes N existiert eine Markierung V , bei der es keine Transition aus T gibt, die bei V schaltbar ist
- Ein **Petrinetz N ist lebendig**, wenn die Erreichbarkeitsmenge keine Markierung enthält, welche eine Verklemmung darstellt.
- Ein **Petrinetz heißt sicher** bezüglich einer vorgegebenen Markenanzahl B , wenn die Erreichbarkeitsmenge keine Markierung enthält, bei der einem Platz mehr als B Marken zugewiesen sind.
- Ein **Petrinetz wird sicher schlechthin** bezeichnet, wenn es sicher bezüglich der Markenanzahl $B=1$ ist.

Diese Eigenschaften lassen sich durch entsprechende Algorithmen bestimmen. Die Existenz und Bestimmbarkeit dieser Eigenschaften sind die größten Vorteile von Petri-Netzen.

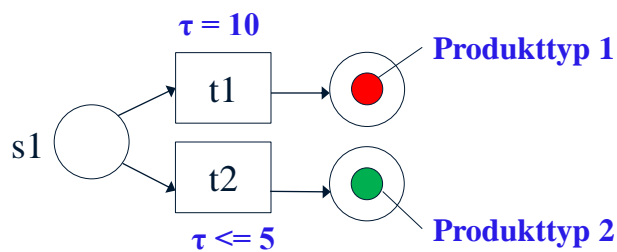
Alternative Modellierungsansätze

-

Prof. T. Wiedemann - Folie 14

Petri-Netze - Erweiterungen

- In der Basisversion sind die Marken anonym, d.h. nicht unterscheidbar (vgl. mit den einfachen SXX-Modellen).
- Eine Unterscheidung der Marken erfolgt bei den **Coloured Petri Nets** mit eingefärbten Marken (bzgl. mit Parametern).
- Eine weitere (auch parallel einsetzbare) Erweiterung sind zusätzliche Zeitangaben (ggf. auch stochastisch) an den Transitionen.
- Eine spezielle Form sind **Stochastische Petrinetze (SPN)**, bei denen jeder Transition eine exponentiell verteilte Schaltrate zugewiesen wird.



Petri-Netze - Zusammenfassung

- Die wichtigsten Vorteile von Petri-Netzen sind die existierenden Methoden zur Untersuchung auf Verklemmung, Lebendigkeit und Sicherheit.
- Damit können parallel oder verteilt arbeitenden Systeme genau untersucht und deren Eigenschaften bewiesen werden.
- Bei der Modellierung realer Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Fertigung oder Bediensystemen sind entsprechende Erweiterungen notwendig.
- Verfügbare Tools (vgl. Link zu Petri Net World) erlauben eine sehr komfortable Modellierung und Analyse.

Modellierung von menschlichen Verhaltensweisen

Anforderungen und Probleme

- herkömmliche diskrete Simulationssysteme kommen an ihre Grenzen bei der Modellierung von Systemen mit sehr großen Einflüssen menschlicher Verhaltensweisen
- Das Entscheidungsverhalten von Menschen lässt sich nur begrenzt durch mathematische Verteilungen oder Algorithmen beschreiben.

Relevant sind häufig auch Einflüsse von

- **Beobachtungen & Reaktionen** bzgl. des Verhaltens anderer Menschen
- von **Erfahrungen** (also gespeicherte Informationen & Regeln)
- **Sozialer Status** (Einordnung in menschliche Hierarchien)
- **Emotionen** (Gefühle & unbewusste Entscheidungsfaktoren).

Modellierung mit Multiagentensystemen

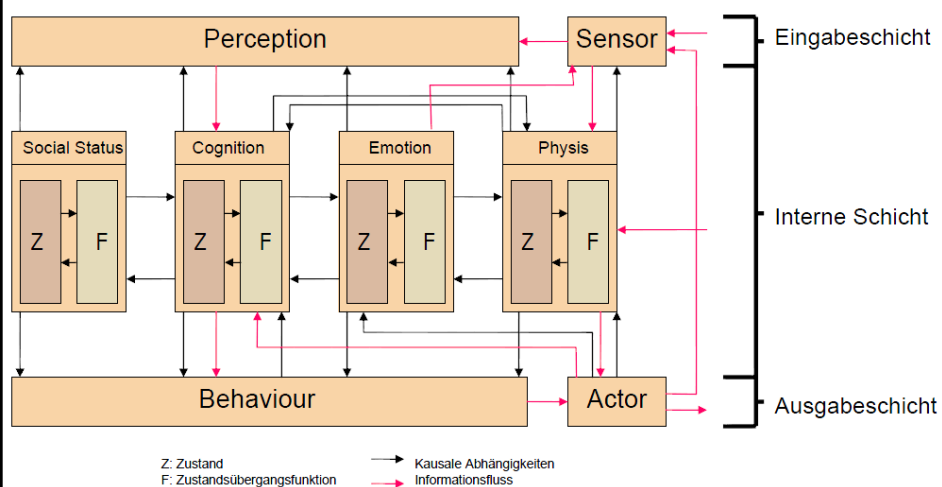
- Eine Option ist der Einsatz von sogen. Multiagentensystemen, als eine Form der KI.
- Als **Agenten** werden individuelle und eigenständige Einheiten bezeichnet
 - Die Agenten nehmen analog zu Menschen ihre Umgebung wahr (tw. auch bewusst falsch oder unvollständig) und reagieren dann auf der Basis interner Strukturen miteinander.
 - Bei Multiagentensystemen ergibt sich die Gesamtreaktion des System aus der Summe der einzelnen Agenteninteraktionen.
- Multiagentensimulationen werden zur Gruppe der Mikrosimulationen gezählt, d.h. sehr detailgetreue und realitätsnahe Simulationen.
- Eine sehr detaillierte Multiagentenkonfiguration wurde von der Arbeitsgruppe Prof. Schmidt / B. Urban an der Uni Passau entwickelt mit dem **PECS-Multiagenten-Referenzmodell**.
- Quellen: <http://staff.fim.uni-passau.de/schmidtb/or/modelle/HowtogiveAgents.pdf>

Das PECS-Multiagenten-Referenzmodell

- Basis ist die Dissertation von B. Urban (Uni Passau).
- Ein **PECS - Agent** wird definiert als Komposition von
 - **P** - Physical conditions (Physischen Eigenschaften)
 - **E** - Emotional states (Emotionen)
 - **C** - Cognitive capabilities (Kognitive Fähigkeiten)
 - **S** - Social status (Sozialer Status).
- In Abhängigkeit von den modellierten Eigenschaften existieren verschiedene Spielarten / Ausprägungen von Agenten:
 - **Reaktive Agenten** – reine Ursache/Wirkungskoppl. (Wenn/Dann-Regeln)
 - **Deliberative Agenten** - zielorientiert mit der Definition des AVerhaltens über die definierten Ziele
 - **Reflektive Agenten** mit der Fähigkeit Ziele neu zu definieren oder zu ändern

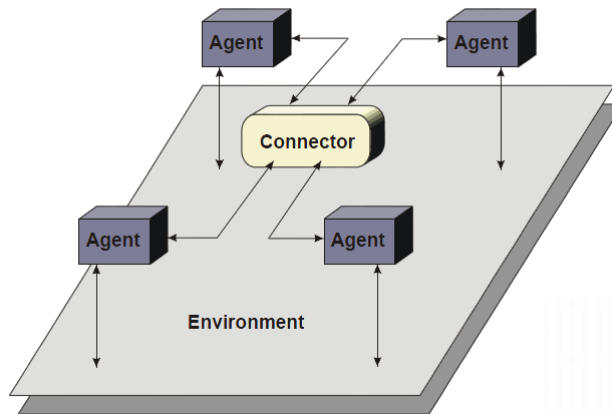
Das PECS-Multiagenten-Referenzmodell – Architektur

- Interner Aufbau eines PECS – Agenten



PECS-Multiagentenmodelle

- Über die Sensoren und Aktoren interagieren die Agenten sowohl mit der Umgebung wie auch miteinander.



PECS-Multiagentenmodelle – Beispielanwendungen

- Multiagentenmodelle eignen sich besonders zur Simulation von komplexen menschlichen Entscheidungssituationen mit einem Einfluss der Kommunikation zwischen den Akteuren
- erste Tests und Validierungen wurden an der Uni Passau (AG Prof. Schmidt mit Kindergartengruppen) durchgeführt bzgl. des Spielverhaltens und des Verhaltens in Konkurrenzsituationen
- Professionelle Anwendungen finden sich in fast allen Bereichen
- -> vgl. Präsentation „**Social Simulation mit Multiagentensystemen**“ von A. Ivanov

Fazit / Zusammenfassung

Alternative Verfahren zur diskreten Simulation

- können die Anwendungsbereiche der Simulation erweitern und neue Analysen ermöglichen
- Petri-Netze eignen sich besonders zum Nachweis der grundlegenden Eigenschaften wie Verklemmung, Lebendigkeit und Sicherheit. Eine gleiche Leistungsfähigkeit der Modelle wie die behandelten Simulationstools (speziell ED) erfordert Erweiterungen (stochastische / individualisierte) des Petri-Netzansatzes und führt auch zu relativ große (und teilweise unübersichtlichen) Modellen
- Multi-Agentensysteme können speziell bei der Simulation von menschlichen Interaktionen sehr gute Ergebnisse erreichen.

Gesamtfazit: Sowohl historisch ältere Ansätze wie Petri-Netze wie auch sehr aktuelle Technologien wie MAS sollten in Randbereichen der diskreten Simulation mit auf ihre Eignung getestet werden.

Literatur / Quellen

Quellen zu Petri-Netzen

- Bücher :
 - Reisig W.: Petrinetze. Modellierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien Vieweg+Teubner, 2010
- Links (mit weiterführenden Links und Quellenangaben) :
 - **Petri Nets World** :
<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>

Quellen zu Multi-Agenten-Systemen

- Schmidt B., (2000); The Modelling of Human behaviour; SCS-Europe BVBA; Ghent
<http://staff.fim.uni-passau.de/schmidtb/or/modelle/HowtogiveAgents.pdf>
- Urban, C. (1999); PECS – A reference Model for the Simulation of Multi-Agent-System; in: Suleiman, R., Troitzsch, K.G., Gilbert G.N. (eds.); Tools and Techniques for Social Science Simulation; Physica Verlag, Heidelberg