

Dipl.-Ing. Thorsten Hummel

# **Der Einsatz von hybriden Petri-Netzen für den Entwurf gemischt analog-digitaler Systeme**

Der Entwurf komplexer gemischt analog-digitaler Systeme verlangt nach Formalismen, welche auf einem hohen Abstraktionsniveau eine einheitliche Beschreibungsmöglichkeit sowohl für die kontinuierlichen als auch für die diskreten Funktionsbaugruppen des Systems bieten. Hybride Petri-Netze stellen eine Weiterentwicklung herkömmlicher Petri-Netze dar und ermöglichen die Beschreibung sowohl diskreter als auch kontinuierlicher Funktionen. Durch die Möglichkeit der Generierung von äquivalentem VHDL-AMS-Code soll eine direkte Verknüpfung mit weiteren Entwurfsschritten ermöglicht werden.

## **1. Einleitung**

Der Entwurf gemischt analog-digitaler Systeme stellt besondere Anforderungen an die verwendeten Entwurfswerkzeuge und -methoden. Das Verhalten dieser Systeme lässt sich nicht einfach in einem geschlossenen Modell beschreiben, da die den einzelnen Komponenten zugrunde liegenden Modelle zu verschieden sind. So werden kontinuierliche Komponenten durch ein kontinuierliches Zeitmodell beschrieben, während die digitalen Komponenten durch diskrete Ablaufschritte dargestellt werden. Systeme mit solchen Heterogenitäten werden im allgemeinen als hybride Systeme bezeichnet.

Einen Überblick über graphbasierte Modelle zur Darstellung solcher hybrider Systeme bietet [4]. Zu diesen graphbasierten Modellen zählen die Petri-Netze. Im folgenden wird die Anwendung einer speziellen Petri-Netz-Klasse, welche um Möglichkeiten zur Modellierung hybrider Systeme erweitert wurde, für den gemischt analog-digitalen Systementwurf vorgestellt.

## **2. Entwurf elektronischer Systeme mit Petri-Netzen**

Die Theorie der Petri-Netze wurde in den 60er Jahren durch C. A. Petri in seiner Dissertation „Kommunikation mit Automaten“ [7] formuliert. Petri-Netze bieten formale, grafikorientierte Beschreibungsmöglichkeiten zur Modellierung von Systemen, die aus parallel ablaufenden Prozessen bestehen. Sie erweitern die Automatentheorie um Aspekte wie Nebenläufigkeit und Synchronisation.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze zur Nutzung von Petri-Netzen für den Entwurf und die Synthese synchroner und asynchroner digitaler Systeme entwickelt. Eine Übersicht ist in [6] und [12] zu finden.

Eine Methode zur Spezifikation und Modellierung von komplexen digitalen Systemen, die als Teil eines automatisierten Entwurfsprozesses synthesesfähigen VHDL-Code erzeugt, ist in [8] und [9] beschrieben.

Das dort verwendete Hardware-Petri-Netz ist ein Platz-Transitions-Netz, welches für die Erfordernisse der Signalmodellierung erweitert wurde. So bietet das Hardware-Petri-Netz die Möglichkeit, bestimmten Plätzen synchrone Funktionalitäten und bestimmten Transitionen entsprechend asynchrone Funktionalitäten zuzuordnen. Jeder Transition kann eine externe Schaltbedingung zugeordnet werden. Außerdem werden zusätzlich zu den vorhandenen Kantentypen Setz- und Testkanten definiert, die der Steuerung des Signalflusses dienen.

Mit dem Hardware-Petri-Netz kann man sowohl synchrones als auch asynchrones Verhalten modellieren. Weiterhin ermöglicht es ein hierarchisches Design sowie eine Partitionierung desselben. Der aus dem Hardware-Petri-Netz generierte VHDL-Code ist voll synthesefähig.

### **3. Probleme beim Entwurf gemischt analog-digitaler Systeme mit Petri-Netzen**

Digitale elektronische Systeme sind häufig nur Teilkomponenten größerer Systeme, die für die Interaktion mit der realen Welt analoge Komponenten besitzen. Der Entwurf solcher gemischt analog-digitaler oder hybrider Systeme stellt sich als eine wesentlich schwierigere Aufgabe dar als der Entwurf rein digitaler Systeme.

Petri-Netze wurden ursprünglich als Formalismus zur Modellierung und Analyse diskreter Systeme eingeführt. Seit Einführung der Petri-Netze wurden zahlreiche Varianten und Erweiterungen für Petri-Netze vorgeschlagen. Dazu gehört u.a. die Einführung von Konzepten zur Modellierung von zeitlichen Abläufen, wobei diese Abläufe immer noch diskret betrachtet werden. Analogen Komponenten liegt aber ein kontinuierliches Zeitmodell zugrunde, was nur näherungsweise durch Diskretisierung beschrieben werden kann.

Ein Ansatz, der Prädikat-Transitions-Netze zum Entwurf hybrider eingebetteter Systeme nutzt, wurde in [5] vorgestellt. Die Überführung zeitkontinuierlicher Differentialgleichungen in zeitdiskrete Differenzgleichungen führt jedoch zu Einschränkungen in der Genauigkeit, die unter bestimmten Bedingungen nicht hinnehmbar sein können.

### **4. Hybride Petri-Netze**

Ein erster Ansatz, Petri-Netze um kontinuierliche Komponenten zu erweitern, wurde von David und Alla vorgeschlagen [1]. Der Kern dieses Ansatzes ist, die Marken nicht ganzzahlig zu interpretieren, sondern in eine theoretisch unendlich kleine Menge von Markenbruchstücken zu zerlegen. Den kontinuierlichen Transitionen wird anstelle der Schaltzeit eine Feuergeschwindigkeit zugeordnet. Darauf aufbauend wurde das Konzept der hybriden Petri-Netze entwickelt, welches kontinuierliche Petri-Netze mit klassischen Platz-Transitions-Netzen kombiniert [2]. Dieser Ansatz bildete die Grundlage für verschiedene Arbeiten zur Modellierung hybrider Systeme, so z.B. der in [11] beschriebene Einsatz höherer Netze zur Modellierung komplexer hybrider Systeme.

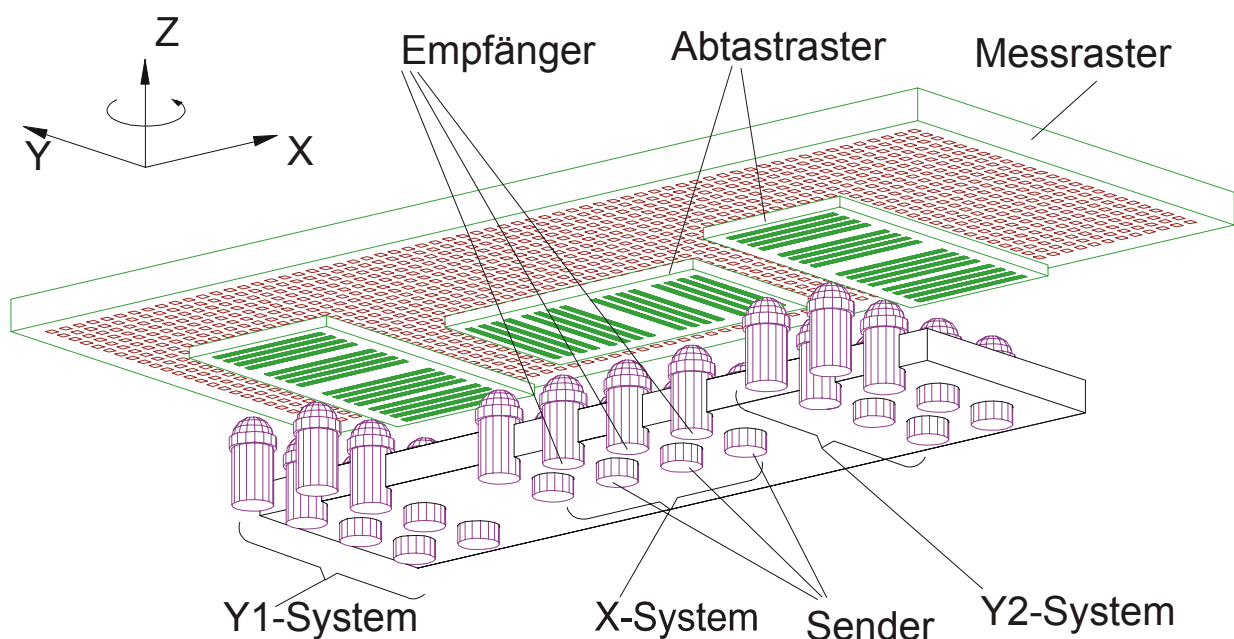
In einer anderen Arbeit [3] wurde eine Erweiterung der von David und Alla eingeführten Netzklasse vorgeschlagen. Dieses „Hybride Dynamische Netz“ (HDN) beschreibt das Verhalten eines ereignisdiskreten, kontinuierlichen oder hybriden Systems oder Teilsystems und ist u.a. dadurch gekennzeichnet, dass die Feuergeschwindigkeit der

Transition als Funktion von Markenquantitäten definiert wird. Für die Modellierung und Simulation der HDN kann das objektorientierte Werkzeug „Visual Object Net ++“ verwendet werden. Mit diesem Werkzeug ist eine Modellierung hybrider Systeme auch unter objektorientierten Gesichtspunkten möglich. So können Teilsysteme modelliert und in Klassen abstrahiert werden. Das Werkzeug ermöglicht eine hierarchische Beschreibung sowie eine Modellierung mit Hilfe von in einer Klassenbibliothek abgelegten Objekten.

Betrachtet man die in den aufgeführten Arbeiten durchgeführten Fallstudien, so fällt auf, dass sie sich im wesentlichen auf Beispiele aus Anwendungsgebieten wie der Prozesskontrolle oder der Automatisierungstechnik konzentrieren. Anwendungsbeispiele aus dem Gebiet des analog-digitalen Schaltungs- und Systementwurfs fehlen völlig. Deshalb soll im folgenden anhand eines konkreten Beispiels die Möglichkeiten des Einsatzes hybrider Petri-Netze beim analog-digitalen Schaltungs- und Systementwurf aufgezeigt werden.

### 5. Analog-digitaler Schaltungsentwurf mit Hybriden Dynamischen Netzen

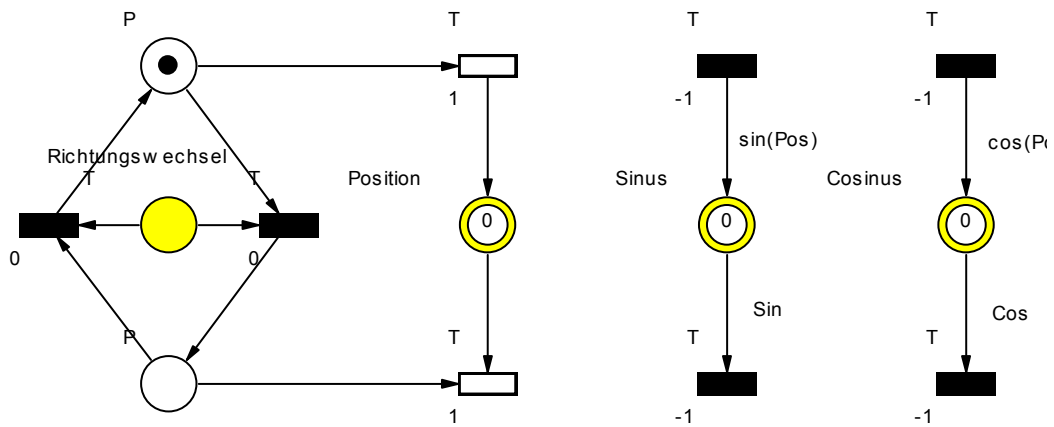
Ein Beispiel für ein gemischt analog-digitales System ist das [10] in beschriebene Mehrkoordinatenmesssystem (Abb. 1).



**Abbildung 1** Mehrkoordinatenmesssystem

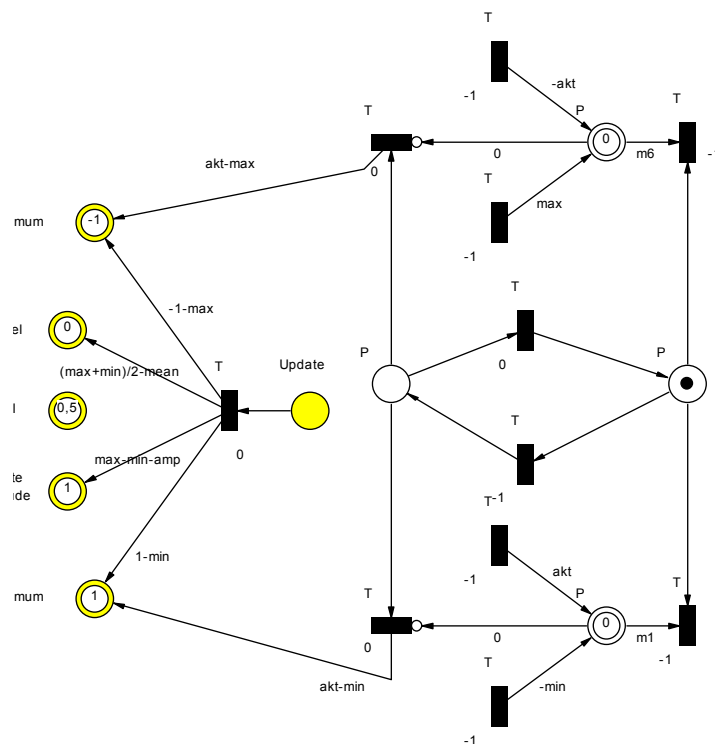
In diesem System zur Positionsbestimmung werden zum einen Inkrementalsensoren die Position in einem Gitterraster aus. Zum anderen wird mit Hilfe von Sinus- und Kosinus-signalen die Position zwischen den einzelnen Gittern bestimmt und dadurch die Genauigkeit der Positionsbestimmung erhöht. Während die eine Positionsbestimmung ein diskreter Prozess ist, kann der andere Vorgang eindeutig als kontinuierlich bezeichnet werden. Allerdings wirken dabei die analogen und digitalen Komponenten dieses Systems so eng zusammen, dass eine getrennte Modellierung dieser Komponenten die Funktionalität des Systems nicht korrekt abbilden kann.

Zur Beschreibung des Gesamtsystems wurden zunächst einzelne Komponenten als Teilsysteme modelliert, zu Klassen abstrahiert, und in einer Klassenbibliothek abgelegt.



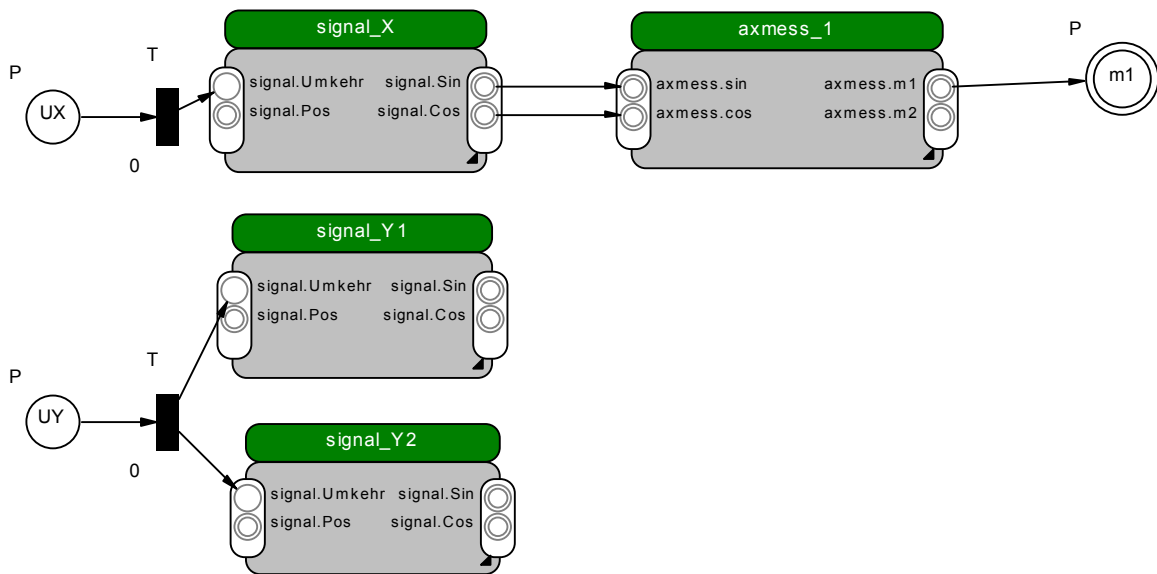
**Abbildung 2** Signalerzeugung

Beispielhaft sind hier die Teilnetze für die Komponente „Sinus- und Kosinuserzeugung“ (Abb. 2) und die Komponente „Minimaler und maximaler Amplitudenwert“ (Abb. 3) dargestellt.



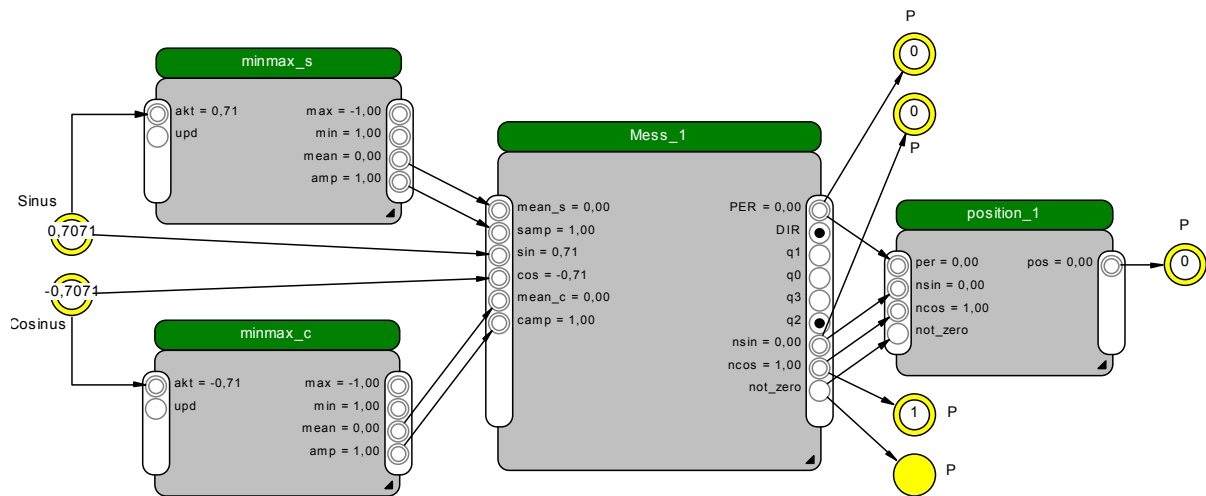
**Abbildung 3** Amplitudenwert

Diese Komponenten wurden bei der Beschreibung des Gesamtsystems in einer höheren Hierarchie als Objekte instanziiert (Abb. 4).



**Abbildung 4** Instanzierte Objekte auf höherer Hierarchieebene - Ausschnitt

Dabei können instanzierte Objekte in einer höheren Hierarchieebene auch auf einer niederen Hierarchieebene instanzierte Objekte enthalten (Abb. 5).



**Abbildung 5** Komponente AXMESS\_1 mit instanziierten Objekten

Letztendlich ist es möglich, das gesamte System hierarchisch zu modellieren und mit Hilfe des oben genannten Werkzeuges zu simulieren. Dabei werden die als Input zu verarbeitenden Signale sowie mögliche Störsignale als Teil des Gesamtsystems modelliert und in der Simulation als Funktionsvariable verwendet.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Der Entwurf gemischt analog-digitaler Systeme verlangt nach Beschreibungsmöglichkeiten sowohl für diskretes als auch für kontinuierliches Verhalten. Hybride Petri-Netze bieten die

Möglichkeit, eine anschauliche graphbasierte Beschreibung eines gemischt analog-digitalen Systems zu erstellen.

Neben anderen, häufig beschriebenen Anwendungsgebieten hybrider Systembeschreibungen, eignen sich hybride Petri-Netze sehr gut für die Beschreibung gemischt analog-digitaler Schaltungen und Systeme.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass mit der verwendeten hybriden Petri-Netz-Klasse und dem dazu gehörigen Modellierungs- und Simulationswerkzeug eine einheitliche Modellierung des untersuchten analog-digitalen Systems möglich ist. Dabei erlaubt der objektorientierte Ansatz der verwendeten Netzklasse eine übersichtliche Modellierung auch komplexer Systeme.

Als zukünftige Aufgaben werden neben der Erweiterung und Vervollständigung des erstellten Modells vor allem die Einbindung dieses Modellierungsprozesses in den weiteren Entwurfsablauf gesehen. Dies kann durch die Überführung der grafischen Petri-Netz-Notation in eine Beschreibung mit einer Hardwarebeschreibungssprache wie z.B. VHDL-AMS geschehen.

## Literatur

- [1] Alla, H., David, R.: Continuous Petri nets. Proceedings of the 8th European Workshop on Application and Theory of Petri nets, Saragossa, 1987.
- [2] Alla, H., David, R., Le Bail, J.: Hybrid Petri nets. Proceedings of the European Control Conference, Grenoble, 1991.
- [3] Drath, R.: Modellierung hybrider Systeme auf der Basis modifizierter Petri-Netze. Dissertation, TU Ilmenau, 1999.
- [4] Grimm, Ch., Waldschmidt, K.: Spezifikation hybrider Systeme. Müller, W., Rammig, F. J. (Hrsg.): Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen - GI/ITG/GMM-Workshop, Paderborn, 1998.
- [5] Kleinjohann, B., Tacke, J., Tahedl, C.: A Design Environment Using High Level Petri nets as Common Model for Specification, Analysis, and Validation of Hybrid Real Time Systems. Monjau, D. (Hrsg.): Hardwarebeschreibungssprachen und Modellierungsparadigmen: 3. ITG/GI/GMM-Workshop, Holzgau, 1997.
- [6] Marranghello, N., Mirkowski, J., Bilinski, K.: Synthesis of Synchronous Digital Systems Specified by Petri nets. Yakovlev, A., Gomes, L., Lavagno, L. (Hrsg.): Hardware Design and Petri Nets, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [7] Petri, C. A.: Kommunikation mit Automaten. Schriften des IIM Nr. 2, Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn, 1962.
- [8] Rokyta, P.: Syntheseorientierte ASIC-Entwicklung mit Petri-Netzen. Monjau, D. (Hrsg.): Hardwarebeschreibungssprachen und Modellierungsparadigmen: 3. ITG/GI/GMM-Workshop, Holzgau, 1997.
- [9] Rokyta, P., Fengler, W., Hummel, Th.: Electronic System Design Automation Using High Level Petri nets. Yakovlev, A., Gomes, L., Lavagno, L. (Hrsg.): Hardware Design and Petri Nets, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [10] Saffert, E.; Schäffel, C.; Kallenbach, E. Regelung eines integrierten Mehrkoordinatenantriebes. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, 23. - 26. 9. 1996, Bd. 2, S. 170 -177
- [11] Wieting, R.: Modellbildung und Simulation mit hybriden höheren Netzen. Dissertation, Universität Oldenburg, 1997.
- [12] Yakovlev, A., Koelmans, A., Semenov, A., Kinniment, D.J.: Modelling, Analysis and Synthesis of Asynchronous Control Circuits Using Petri Nets. Integrations - The VLSI Journal, 21(3), pp.143-170, 1996.

## Autor

Dipl.-Ing. Thorsten Hummel  
Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Informatik und Automatisierung  
Institut für Theoretische und Technische Informatik  
Fachgebiet Rechnerarchitekturen  
PF 10 05 65  
98684 Ilmenau  
Tel.: +49 (0)3677 69 1233  
Fax: +49 (0)3677 69 1614  
Email: thummel@theoinf.tu-ilmenau.de