

Analysemethoden für Zuverlässigkeit – Petrinetz-Modellierung

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe.....	8
4 Symbole und Abkürzungen.....	8
5 Allgemeine Beschreibung von Petrinetzen.....	10
5.1 Zeitlose Low-level-Petrinetze.....	10
5.2 Zeitbehaftete Low-level-Petrinetze.....	10
5.3 High-level-Petrinetze.....	11
6 Beziehung zu RAMS-Konzepten.....	11
7 Zuverlässigkeitsmodellierung und -analyse mit Petrinetzen.....	11
7.1 Die auszuführenden Schritte im Allgemeinen.....	11
7.2 Die durchzuführenden Schritte im Detail.....	12
8 Verhältnis zu anderen Modellen der Zuverlässigkeit.....	17
Anhang A (informativ) Struktur und Dynamik von Petrinetzen.....	18
A.1 Allgemeines Petrinetz-Konzept und seine Beziehung zur Zuverlässigkeit.....	18
A.1.1 Petrinetz-Struktur.....	18
A.1.2 Kausale Dynamik in Low-level-Petrinetzen.....	18
A.1.3 Erreichbarkeitsgraph (en: reachability graph).....	20
A.2 Zeitbehaftete Petrinetze.....	22
A.2.1 Spezifische Transitionen für zeitbehaftete, niedrige Petrinetze.....	22
A.2.2 Dynamik in zeitbehafteten niedrigen Petrinetzen.....	22
A.2.3 Verschiedene Kategorien von zeitbehafteten Petrinetzen.....	23
A.3 Methoden zur Analyse von Petrinetzen.....	24
A.3.1 Qualitative Analyse.....	24
Anhang B (informativ) m aus n.....	27
B.1 Lokale und globale Zustände.....	27
B.2 Globale Zustände und Systemaufbau.....	28
Anhang C (informativ) Abstraktes Beispiel.....	31
C.1 Lokale, globale und aggregierte globale Zustände.....	31
C.2 Funktionsfähigkeit und Systemfunktion sowie Hierarchisierung.....	32
Anhang D (informativ) Modellierung typischer Zuverlässigkeitskonzepte.....	33
Anhang E (informativ) Darstellung der Analyseergebnisse.....	34
Anhang F (informativ) Beispiel: Bahnübergang.....	36
Bild 1 – Die Methode besteht im Wesentlichen aus den Schritten „Modellieren“, „Analysieren“ und „Darstellen“.....	11

	Seite
Bild 2 – Prozess der Zuverlässigkeitsmodellierung und -analyse mit Petrinetzen	12
Bild 3 – Modellierungsstruktur in Bezug auf die zwei Hauptkomponenten „Strecke“ und „Steuerung“ mit Modellen ihrer Funktionen und Zuverlässigkeiten	14
Bild 4 – Angabe der Analysemethode in Abhängigkeit vom PN-Modell.....	15
Bild 5 – Funktionsfähigkeit „Zustand-Transition“-Zyklus eines Bauelements.....	18
Bild 6 – Transition „Ausfall“ (en: failure) ist aktiviert	19
Bild 7 – Stelle „Fehlzustand“ (en: faulty) wird durch Schalten von „Ausfall“ markiert.....	19
Bild 8 – Transition „Element _i Instandsetzung“ ist aktiviert	19
Bild 9 – Das Token der Stelle Instandhaltungspersonal ist nicht verbraucht	19
Bild 10 – Transition ist nicht aktiviert	20
Bild 11 – Markierung vor dem Schalten.....	20
Bild 12 – Markierung nach dem Schalten	20
Bild 13 – Ein Petrinetz mit Anfangsmarkierung	20
Bild 14 – Der zugehörige RG.....	20
Bild 15 – Transitionen „Element _i _p Instandsetzung“ und „Element _i _{hp} Ausfall“ sind aktiviert.....	21
Bild 16 – Markierung nach Schaltung der Transition „Element _i _p Instandsetzung“	21
Bild 17 – Ein zeiterweitertes PN mit exponential verteilten, zeitbehafteten Transitionen.....	22
Bild 18 – Der zugehörige stochastische Erreichbarkeitsgraph	22
Bild 19 – Petrinetz mit zeitbehafteten Transitionen	23
Bild 20 – Zuverlässigkeitsnetze zweier Elemente mit spezifischen Ausfall- und Instandsetzungsraten.....	27
Bild 21 – stochastischer RG von Bild 20 (als Abkürzung wird \bar{c}_i für „Element _i Fehlzustand“ genutzt)	27
Bild 22 – Zuverlässigkeitsnetze zweier Elemente mit spezifischen Ausfall- und Instandsetzungsraten.....	28
Bild 23 – Stochastischer RG von Bild 22 (als Abkürzung wird \bar{c}_i für „Element _i Fehlzustand“ genutzt).....	28
Bild 24 – Spezifisch verbundenes 1-aus-3-Zuverlässigkeitsnetz	29
Bild 25 – Spezifisch verbundenes 2-aus-3-Zuverlässigkeitsnetz	29
Bild 26 – Spezifisch verbundenes 3-aus-3-Zuverlässigkeitsnetz	30
Bild 27 – Stochastischer RG mit systemspezifischen Betriebszuständen.....	30
Bild 28 – Funktionsfähigkeitsmodellierung eines einzelnen Elements	31
Bild 29 – Stochastischer Erreichbarkeitsgraph des Netzes aus Bild 28 mit seinen globalen Zuständen und aggregierten globalen Zuständen in Bezug auf Verfügbarkeit und Sicherheit.....	31
Bild 30 – Grundlegendes Konzept zur Modellierung von Zuverlässigkeit und Funktion	32
Bild 31 – Allgemeines hierarchisches Netz mit Supertransitionen	32
Bild 32 – Allgemeines hierarchisches Netz mit Supertransitionen und -stellen.....	32
Bild 33 – Aggregierter Erreichbarkeitsgraph (mit λ_i und μ_i als Ausfall- und Instandsetzungsraten).....	34
Bild 34 – Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm mit logarithmischer Skaleneinteilung. Zuverlässigkeitswerte des m-out-of-n-Systems mit n = 2.....	35
Bild 35 – Anwendungsbeispiel eines Bahnübergangs und seiner Sicherungseinrichtung.....	36
Bild 36 – Hauptbestandteile des Bahnübergangmodells.....	37

	Seite
Bild 37 – Teilmodelle des Bahnübergangmodells	37
Bild 38 – Petrinetz-Modell des Bahnübergangs	39
Bild 39 – Datenerhebung zum Straßenverkehrsfluss an einem bestimmten Bahnübergang	40
Bild 40 – Werte aus Bild 39 mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion der Zeitintervalle zwischen zwei sich dem Bahnübergang nähernden Fahrzeugen	41
Bild 41 – Gemessene Aufenthaltsdauern von Straßenfahrzeugen im Gefahrenbereich des Bahnübergangs	41
Bild 42 – Wahrscheinlichkeitsfunktion der Aufenthaltsdauern von Straßenfahrzeugen im Gefahrenbereich des Bahnübergangs	42
Bild 43 – Aggregierter Erreichbarkeitsgraph und Informationen über entsprechende Zustände	47
Bild 44 – Ergebnisse der quantitativen Analyse zeigen die Verfügbarkeit des Bahnübergangs für Straßennutzer in Abhängigkeit von der Rate gefährlicher Ausfälle der Sicherungseinrichtung für verschiedene Annäherungszeiten T_{AC}	48
Bild 45 – Ergebnisse der quantitativen Analyse zeigen das individuelle Risiko der Bahnübergangsnutzer in Abhängigkeit von der Rate gefährlicher Ausfälle der Sicherungseinrichtung für verschiedene Annäherungszeiten T_{AC}	48
Bild 46 – Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm, beruhend auf den Ergebnissen der Modellanalyse in den Bildern 44 und 45	49
Tabelle 1 – Symbole in zeitlosen Petrinetzen	9
Tabelle 2 – Zusätzliche Symbole in zeitbehafteten Petrinetzen	9
Tabelle 3 – Superknoten (en: Supernodes) für hierarchisches Modellieren	9
Tabelle 4 – Abkürzungen	9
Tabelle 5 – Einschlägige Begriffe in Systemen, Petrinetzen und RAMS	11
Tabelle 6 – Verbindliche und empfohlene Bestandteile der Dokumentation	16
Tabelle 7 – Dazugehörige Bezeichnungen in Systemen, Petrinetzen und Erreichbarkeitsgraphen	21
Tabelle 8 – Stellen und Transitionen mit Belohnung	26
Tabelle 9 – Zuverlässigkeitskonzepte und ihre PN-Modellierungsstrukturen	33
Tabelle 10 – Modellierungskosten von Zuständen und Ereignissen	33
Tabelle 11 – Straßenverkehrsbezogene Stellen im Teilmodell „Verkehrsprozess“	40
Tabelle 12 – Straßenverkehrsbezogene Transitionen im Teilmodell „Verkehrsprozess“	43
Tabelle 13 – Schienenverkehrsbezogene Stellen im Teilmodell „Verkehrsprozess“	43
Tabelle 14 – Schienenverkehrsbezogene Transitionen im Teilmodell „Verkehrsprozess“	44
Tabelle 15 – Stellen im Teilmodell „Verkehrsunfall“	44
Tabelle 16 – Transitionen im Teilmodell „Verkehrsunfall“	44
Tabelle 17 – Stellen im Teilmodell „Steuerungsfunktions-Zuverlässigkeit“	45
Tabelle 18 – Transitionen im Teilmodell „Steuerungsfunktions-Zuverlässigkeit“	45
Tabelle 19 – Stellen im Teilmodell „Steuerungsfunktion“	46
Tabelle 20 – Transitionen im Teilmodell „Steuerungsfunktions-Zuverlässigkeit“	46
Tabelle 21 – Spezifikation von booleschen Bedingungen, um Zustände zu aggregierten Zuständen zusammenzufassen	47