Ein Petrinetz - Modell zur Informationsübertragung per Dialog

Markus Huber[1], Christian Kölbl[1], Robert Lorenz[2], and Günther Wirsching[1]

[1] Katholische Universität Eichstätt - Ingolstadt
{firstname.lastname}@ku-eichstaett.de
[2] Universität Augsburg
robert.lorenz@informatik.uni-augsburg.de

Zusammenfassung Wir stellen ein abstraktes Modell zur Informationsübertragung per Dialog vor. Dieses Modell erweitert das Grundmodell eines Kommunikationssystems von Shannon um die Möglichkeit der Nachfrage innerhalb einer Informationsübertragung. Für die Modellierung von Information und Informationsbestandteilen führen wir Merkmal-Werte-Relationen ein. Die Steuerung des Informationsflusses repräsentieren wir durch ein farbiges Petrinetz. Hierbei konzentrieren wir uns auf einen Mensch-Maschine-Dialog und die Modellierung der Funktionalität der Maschine. Eine zukünftige industrielle Anwendung liegt im Bereich von Dialogsystemen zur Sprachverarbeitung.

1 Einleitung

Mit der Erfindung des Telefons begann langsam das Bedürfnis zu wachsen, den Prozess der Übertragung von Nachrichten und Information genauer zu verstehen. Ein Meilenstein auf diesem Weg war Shannon's 1948 erschienene Arbeit "A Mathematical Theory of Communication" [3], in der insbesondere ein mathematisches Modell für den Umgang mit Störungen des Sender-Empfänger-Kanals vorgestellt wurde. In vielen realen Situationen ist der Kanal zwar Störungen unterworfen, funktioniert aber im Prinzip in beiden Richtungen so gut, dass eine wesentlich sicherere Informationsübertragung per Frage-Antwort-Dialog möglich ist (Abb. 1). Das Ziel dieser Arbeit ist einen Beitrag zur mathematischen Modellierung der dialogischen Vermittlung von Information zu leisten. Um die Zuverlässigkeit unseres mathematischen Modells zu gewährleisten, ist es unsere Absicht, das Dialogmodell schließlich so genau zu beschreiben, dass eine technische Realisierung möglich ist und zu Dialogsystemen führt, die den zur Zeit üblichen Sprachdialogsystemen, wie sie etwa bei Hotlines oder zur Durchführung telefonischer Überweisungen eingesetzt werden, weit überlegen sind.

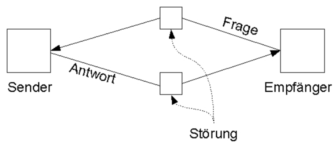

Abbildung 1. Dialogische Umsetzung des Shannonschen Kommunikationsmodell von 1948 (Fig. 1 in [3])

Hierbei gehen wir *top-down* vor und behandeln in dieser Arbeit zwei grundlegende Aspekte:

1. Die Modellierung von *Information* und *Informationsbestandteilen* durch *Merkmal-Werte-Relationen*, und

2. die Steuerung des Informationsflusses durch ein farbiges Petrinetz.

Der erste Aspekt erlaubt es, bei der Repräsentation von Information mögliche Kanalstörungen und Mißverständnisse angemessen zu berücksichtigen, und geht damit über das verbreitete Modell *semantic slots* [1] hinaus. Die im zweiten Aspekt angesprochene Dialogsteuerung durch ein Petrinetz bildet einen vernünftigen formalen Rahmen, in den prinzipiell alle bekannten Dialogstrategien integriert werden können.

2 Systemmodellierung

In diesem Abschnitt wird ein abstraktes Modell zur Informationsübertragung per Dialog vorgestellt. Da es möglich ist, dass übertragene Information nicht genau verstanden wird, kann mit einer Nachfrage reagiert werden. Dabei wird eine Erwartung darüber generiert, was der Dialogpartner inhaltlich auf die Nachfrage antworten könnte. Zur Modellierung von Informationsbestandteilen führen wir sog. *Merkmal-Werte-Relationen (MWRen)* ein. Um einerseits die Erwartung an den Inhalt übertragener Information und andererseits die Sicherheit mit der Information verstanden wurde ausdrücken zu können, können MWRen gewichtet werden. Zur Modellierung des Informationsflusses im Dialog verwenden wir ein farbiges Petrinetz. Im Vergleich zu (bisher überwiegend verwendeten) Automaten hat das Petrinetz Vorteile in Mächtigkeit, Kompaktheit, Lesbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit.

Es handelt sich um einen bisher noch vollständig abstrakten Entwurf als ersten Schritt einer Top-Down-Modellierung. Wir interpretieren dabei die Transitionen als abstrakte Funktionen. Dazu definieren wir formal, was die Eingabe- und Ausgabeparameter dieser Funktionen sind (diese werden als farbige Marken in den Stellen modelliert), interpretieren die Ein- und Ausgabewerte der Funktionen und beschreiben deren grundsätzliche funktionale Abhängigkeit. Die Implementierung derselben, z.B. durch Transitionsverfeinerung, ist Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten.

Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden Notationen eingeführt. Im Anschluss daran definieren und beschreiben wir den Begriff der Merkmal-Werte-Relation, der für die Systembeschreibung im dritten Abschnitt von zentraler Bedeutung sein wird.

2.1 Grundlegende Notationen

Wir beginnen mit einigen grundlegenden mathematischen Notationen. Mit $\mathbb{N}$ bezeichnen wir die Menge der *nicht-negativen ganzen Zahlen*, mit $\mathbb{R}$ die Menge der *reellen Zahlen* und mit $\mathbb{R}^+$ die Menge der nicht-negativen reellen Zahlen. Ein Wahrscheinlichkeitsmaß π auf einer endlichen Menge A ist eine Abbildung $\pi : A \to [0,1]$ mit $\sum_{a \in A} \pi(a) = 1$. Für eine endliche Menge A bezeichnet $A+$ wie üblich die Menge aller Worte über A. Eine *Multi-Menge* über einer Menge A ist eine Funktion $m : A \to \mathbb{N}$. Für ein $a \in A$ bezeichnet $m(a)$ die Anzahl von a's in m. Für eine binäre Relation $R \subseteq A \times A$ über einer Menge A ist R^+ der *transitive Abschluss* von R. Eine binäre Relation R über A heißt *linkstotal*, falls für jedes $a \in A$ ein $b \in A$ existiert mit $(a,b) \in R$. Ein *gerichteter Graph* G ist ein Paar $G = (A, \to)$, wobei A eine endliche Menge von *Knoten* und $\to \subseteq A \times A$ die Menge der *Kanten* ist. Wie üblich schreiben wir auch $a \to b$

für $(a,b) \in \rightarrow$. Für $a \in A$ bezeichnet ${}^\bullet a = \{a' \in A \mid a' \rightarrow a\}$ den Vorbereich und $a^\bullet = \{a' \in A \mid a \rightarrow a'\}$ den Nachbereich von a. Eine endliche Folge von Knoten $a_0 \ldots a_n$ ($n \in \mathbb{N}$) mit $a_{i-1} \rightarrow a_i$ ist ein *Pfad* von a_0 nach a_n. Ein Pfad $a_0 \ldots a_n$ mit $a_0 = a_n$ ist ein *Zyklus*. Eine *partielle Ordnung* ist ein gerichteter Graph $(A, <)$, wobei $<$ irreflexiv und transitiv ist. Eine Relation R über einer Menge A lässt sich als gerichteter Graph (A, R) auffassen und umgekehrt. Bekanntlich ist eine Relation R genau dann zyklenfrei, wenn R^+ irreflexiv, d.h. eine partielle Ordnung, ist.

Zur Modellierung der Dialogsteuerung verwenden wir farbige Petrinetze [2]. Aus Platzgründen führen wir farbige Petrinetze hier nur semi-formal ein. Ein *farbiges Petrinetz* besteht aus einer endlichen Menge von Stellen S, einer endlichen Menge von Transitionen T ($S \cap T = \emptyset$), einer Menge von Kanten $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ und einer endlichen Menge von Farbmengen Σ. Eine Farbmenge $C \in \Sigma$ lässt sich als Wertebereich eines Datentyps auffassen. Einen Wert $c \in C$ bezeichnet man als Farbe. Jeder Stelle s ist eine Farbmenge $C(s)$ zugeordnet, welche den Datentyp der Marken festlegt, die in dieser Stelle liegen dürfen. Die *initiale Markierung* m_0 legt fest, wieviele Marken welcher Farbe am Anfang in einer Stelle s liegen, d.h. $m_0(s)$ ist eine Multimenge über $C(s)$. Jede Kante e ist mit einem Ausdruck $E(e)$ über einer Menge von Variablen beschriftet, welche einen festgelegten Datentyp (gegeben durch eine Farbmenge) haben. Werden Variablen v eines Ausdrucks $E(e)$ durch Farben $b(v)$ der entsprechenden Farbmenge evaluiert[3], so ergibt $E(e)$ eine Multimenge von Farben $E(e) < b >$. Transitionen t können mit Bedingungen $G(t)$ beschriftet sein. Auch deren Variablen haben eine Farbmenge als Datentyp und können durch eine Funktion b an Farben gebunden werden. Durch eine solche Bindung evaluiert $G(t)$ zu *wahr* oder *falsch*. Eine Transition t kann in einer Markierung schalten, wenn eine Bindung b aller Variablen an Farben existiert, so dass die Transitionsbedingung zu *wahr evaluiert* und in jeder (Eingangs-)Stelle s mit $(s,t) \in F$ mindestens die durch $E(s,t) < b >$ beschriebenen Marken liegen. Schaltet t bzgl. einer solchen Bindung b, so werden diese Marken aus solchen Eingangs-Stellen entfernt, und in jeder (Ausgangs-)stelle s mit $(t,s) \in F$ werden die durch $E(t,s) < b >$ beschriebenen Marken hinzugefügt.

Wir werden Informationsbestandteile durch Marken geeigneter Farben modellieren.

2.2 Informationsbestandteile: Merkmal-Werte-Relationen

Grundsätzlich eignet sich das vorgestellte Modell ganz allgemein zur Beschreibung eines Dialogs zwischen Systemen, zwischen Menschen oder auch zwischen Mensch und Maschine, also generelle Informationsübertragung nicht nur per Sprache. O.B.d.A. wollen wir uns im Folgenden einen Mensch-Maschine-Dialog vorstellen, da sich dies vorteilhaft auf die Wahl geeigneter Abstraktionen auswirkt.

Im durchlaufenden Beispiel betrachten wir ein Mensch-Maschine-Dialogsystem, in dem der Benutzer des Systems einen Anruf mittels Spracheingabe tätigen möchte. Hierbei kann er die Nummer direkt angeben (falls er sie weiß), also z.B. "555666 anrufen" sagen. Oder er kann ihm bekannte Informationen zum gewünschten Anrufpartner, wie Vorname, Nachname und Ort, angeben. Er kann also sagen "Maja anrufen". Zur Un-

[3] man sagt auch: die Variablen werden an Werte des entsprechenden Datentyps gebunden

terstützung des Systems existiert ein, in einer Datenbank gespeichertes, Telefonbuch mit Einträgen, die solche Informationen zur Verfügung stellen (Abb. 2).

Erste Aufgabe des Systems ist, übertragene Informationen zu verstehen. Üblicherweise wird eine Information (oder ein Informationsbestandteil) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit verstanden. Kann der gewünschte Anrufpartner noch nicht mit ausreichender Sicherheit identifiziert werden, wird das System weitere spezifische Informationen erfragen.

Vorname	Nachname	Ort	Telefonnummer
Michael	Bramer	Saarbrücken	111222
Maja	Brandl	Sydney	333444
Anton	Maier	München	555666
Fritz	Mayer	Augsburg	77777
Klaus	Meier	Saarbrücken	88989
Sydney	Meyer	Berlin	11111
Miroslav	Müller	Ingolstadt	215156

Abbildung 2. Die Telefondatenbank des Sprachdialogsystems

So ist es beispielsweise möglich, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Nachname verstanden wurde, aber noch mehrere Personen mit diesem Nachnamen im Telefonbuch existieren. Diese könnten sich bzgl. des Wohnortes oder des Vornamens (oder beidem) unterscheiden lassen. Informationen werden so lange vom System "aufgesammelt" und "kombiniert", bis der gewünschte Anrufpartner mit ausreichender Sicherheit feststeht.

Dieser Beschreibung zufolge können Informationen also verschiedenen Merkmalen wie *Vorname*, *Nachname* und *Ort* zugeordnet werden. Diese nennen wir Werte. Die Menge der Merkmale kann hierbei strukturiert sein, z.B. lassen sich Vor- und Nachname zum Merkmal *Name* zusammenfassen. Formal werden wir Informationen in sog. *Merkmal-Werte-Relationen* darstellen.

Definition 1 (Merkmal-Werte-Relation). *Gegeben seien zwei disjunkte endliche Mengen M (Merkmalmenge) und A (Menge atomarer Werte). Eine* Merkmal-Werte-Relation (MWR) *über M und A ist eine linkstotale, zyklenfreie Relation $R \subset M \times (M \cup A)$.*

Eine gewichtete *MWR ist ein Paar (R, π) bestehend aus einer MWR R und einer Menge $\pi = \{\pi_m \mid m \in M\}$ von Gewichten $\pi_m \in R^+$ auf den nicht-leeren Wertemengen $W(m) = \{w \in M \cup A \mid (m, w) \in R\}$ (d.h. $\pi_m : W(m) \rightarrow \mathbb{R}^+$). Handelt es sich bei π_m um Wahrscheinlichkeitsmasse, so spricht man von einer* stochastischen *MWR.*

Die MWR bzgl. eines Merkmals m notieren wir als $R_m := R|_{\{m\} \times (M \cup A)}$.

Zur Illustration der Zyklenfreiheit betrachten wir das Merkmal *Ziffernfolge*. Üblicherweise ist eine Ziffernfolge ein Element der unendlichen Menge $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}+$, die mit Hilfe geeigneter Rekursionen dargestellt werden kann (Abb. 3 links oben). Allerdings sind in einer speziellen Anwendung nur endlich viele Ziffernfolgen als Werte relevant, z.B. besitzen interne Telefonnummern meist eine vorgegebene Stellenzahl. Deshalb verzichten wir durch die Forderung der Zyklenfreiheit auf die Möglichkeit der Rekursion[4], was in unserer Situation einige Vorteile mit sich bringt.

Eine MWR hat, als Graph betrachtet, nicht notwendigerweise eine Baumstruktur (Abb. 3, rechts oben und links unten), dennoch kann man von *Wurzeln* (Merkmale, die nicht als Werte auftreten) und *Blättern* (atomare Werte, die tatsächlich als Werte auftre-

[4] In unserem Kontext könnte z.B. das Merkmal $m = \textit{Ziffernfolge}$ als Wertemenge $W(m)$ die Menge der internen Telefonnummern haben.

ten) sprechen. Falls nur *eine* Wurzel[5] vorhanden ist (Abb. 3, unten) und es sich um eine stochastische MWR handelt, kann man aus den Wahrscheinlichkeitsmassen $\{\pi_m\}_{m\in M}$ eindeutig ein Wahrscheinlichkeitsmaß π_R auf der Menge der Blätter konstruieren, und zwar ist für ein Blatt $b \in A$ seine Wahrscheinlichkeit $\pi_R(b)$ die Summe der Pfadwahrscheinlichkeiten der Pfade von der Wurzel zum Blatt b. Hierbei erhält man eine Pfadwahrscheinlichkeit durch Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten entlang des Pfades. Falls die MWR eine Baumstruktur hat (Abb. 3, rechts unten), können aus einem Wahrscheinlichkeitsmaß π_R auf den Blättern auch umgekehrt die Wahrscheinlichkeitsmasse $\{\pi_m\}_{m\in M}$ berechnet werden.

Die in Abbildung 3 rechts unten dargestellte MWR benutzen wir in unserem durchlaufenden Beispiel eines Dialogs zur Anbahnung eines Anrufs zur Modellierung von Informationsbestandteilen. Blätter, die vom Merkmal *Datenbank* aus erreichbar sind, entsprechen grundsätzlich genau Datenbankeinträgen (vgl. Abb. 2). Die hier gezeigte MWR hat bereits Gewichte, die wir aber später erklären werden.

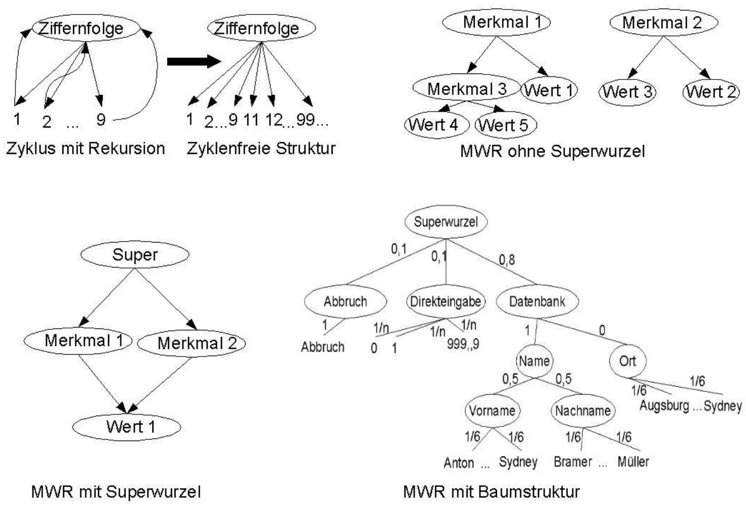

Abbildung 3. Zyklenfreiheit einer MWR und verschiedene Erscheinungsformen von Merkmal-Werte-Relationen.

2.3 Systembeschreibung

In diesem Abschnitt beschreiben wir das durch das Netz in Bild 4 modellierte Dialogsystem. Dazu bezeichnet M die Menge aller Merkmale und A die Menge aller atomaren Werte. Die Transitionen stellen bis dato abstrakte Funktionen dar, deren Ein- und Ausgabedaten durch Marken in den Stellen $p_1, \ldots, p_6$ repräsentiert werden. Die durch die Stellen p_3, p_4, p_5 modellierten Daten repräsentieren hierbei gewichtete MWRen über M' und A' für geeignete Mengen $M' \subseteq M$ und $A' \subseteq A$. Dabei betrachten

[5] Gibt es in der MWR *genau ein* Merkmal, das nicht als Wert vorkommt, so bezeichnen wir dieses Merkmal als "Superwurzel".

wir o.B.d.A. nur MWRen mit Baumstruktur. Wir stellen eine solche gewichtete MWR $(R, \{\pi_m\}_{m \in M'})$ durch die Menge $\{(R_m, \pi_m) \mid m \in M'\}$ dar (Abb. 6). Eine Marke entspricht dann einem konkreten Paar (R_m, π_m). Die Stellen p_3, p_4, p_5 sind also mit der Farbmenge $C = \{(R_m, \pi_m) \mid m \in M\}$ beschriftet. Die Stellen p_1, p_2, p_6 haben einfachere Datenstrukturen, welche von der betrachteten Anwendung abhängen.

Wie bereits erwähnt, betrachten wir einen Mensch-Maschine-Dialog. Wir konzentrieren uns dabei auf die Modellierung der Funktionalität der Maschine. Im dargestellten Netz beschreibt die graue Stelle *Informationseingabe* Funktionalität des Senders (also des Menschen), während das restliche Netz die Funktionalität des Empfängers (also der Maschine) repräsentiert. Ziel ist es, die durch die Informationseingabe generierte Information in p_2 so zu übertragen, dass der Empfänger diese in p_6 erhält. Dafür ist es notwendig den Zustand in p_5 so zu verändern, dass die Informationsübertragung abgeschlossen werden kann. Um diesen Vorgang zu verstehen, werden wir im Folgenden jede Transition mit Ein- und Ausgaben in Struktur beschreiben und interpretieren. Wir verifizieren dies anhand des durchlaufenden Beispiels eines Dialogs zur Anbahnung eines Anrufs.

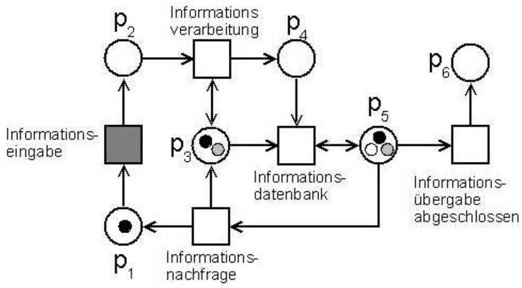

Abbildung 4. Abstraktes Petrinetz zur Informationsübertragung per Dialog.

Wir beginnen bei der *Informationsanforderung*.[6] Als Eingabe dieser Transition dienen Marken aus p_5. Die Stelle p_5 beinhaltet zwei voneinander unabhängige gewichtete MWRen. Die eine MWR (R^{IS}) beschreibt den aktuellen Informationsstatus des Empfängers durch Gewichtung g_i(Güte) von bereits erkannten Informationsbestandteilen i. Die andere MWR R^{bI} repräsentiert die noch benötigten Informationsbestandteile zur Vervollständigung der Informationsübertragung. Je größer das Gewicht eines Merkmals aus R^{bI} ist, desto dringender wird diese Information benötigt, um die Informationsübertragung erfolgreich abzuschließen. R^{bI} dient als Eingabe der Informationsanforderung, d.h. die Kantenbeschriftung ist derart, dass genau die den Merkmalen von R^{bI} entsprechenden Marken konsumiert werden.[7] Auf der Basis von R^{bI} wird eine entsprechende Informationsanfrage (an den Sender) in p_1 generiert (z.B. repräsentiert durch einen String). Diese Anfrage ist mit einer gewissen Erwartung an die nächste Informationseingabe durch den Sender verbunden. Grundsätzlich können Informationen nur dann verstanden werden, wenn eine gewisse Erwartung an den Inhalt der übertragenen Information existiert.[8] Eine solche Erwartung modellieren wir durch eine stocha-

[6] Die Informationsübermittlung mit der Nachfrage beginnen zu lassen widerspricht zwar dem Shannonschen Kommunikationsgedanken, aber diese Transition eignet sich am Besten zur schrittweisen Beschreibung des Systems. Dies lässt sich aber ohne weiteres rechtfertigen, indem man die initiale Nachfrage als Kommunaktionseröffnung interpretiert.

[7] In dieser Arbeit verzichten auf die formale Angabe von Kantenbeschriftungen.

[8] Dies ist sowohl beim Menschen als auch z.B. in existierenden Sprachdialogsystemen der Fall.

stische MWR mit Superwurzel R^{EH}, die wir *Erwartungshorizont* nennen. Die zu den Merkmalen von R^{EH} gehörenden Marken werden in p_3 generiert.

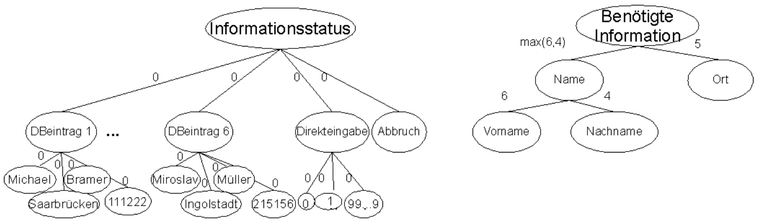

Abbildung 5. Links: R^{IS} - hier ist noch nichts erkannt worden. Rechts: R^{bI} - hier wird im Beispiel die Information als am notwendigsten eingestuft, welche die meisten (lautlichen) Unterschiede liefert.

Eine Analogie zur Informationsanforderung ist in unserem Beispiel der "Prompt" (Abb. 7). Im ersten Schritt entspricht R^{bI} einer Standardeinstellung und R^{IS} ist "leer", i.e. es ist $g_i = 0$ für alle i (Abb. 5). Aufgrund dieser Information wird der Benutzer (visuell, akustisch, textuell,...) aufgefordert den Namen des Teilnehmers zu nennen (p_1) und die entsprechende Erwartungshaltung (Erwartungshorizont in p_3) wird generiert (Abb. 6 und 3 rechts unten), wobei aber geringfügig berücksichtigt bleibt, dass der Benutzer den Anrufvorgang abbrechen oder die Nummer direkt angeben könnte. Der Ort wird nicht berücksichtigt, da $\pi_{Datenbank}(Ort) = 0$. In p_3 befinden sich jetzt also die Marken ($R_{Erwartung}$, $\pi_{Erwartung}$), ($R_{Abbruch}$, $\pi_{Abbruch}$), ($R_{Direkteingabe}$, $\pi_{Direkteingabe}$), ($R_{Datenbank}$, $\pi_{Datenbank}$), (R_{Name}, π_{Name}), ($R_{Vorname}$, $\pi_{Vorname}$) und ($R_{Nachname}$, $\pi_{Nachname}$).

Aufgrund der Informationsanfrage in p_1 liefert der Sender (Informationseingabe) eine Information in p_2 (z.B. in Form einer Lautfolge oder eines Strings). In unserem Beispiel antwortet der Mensch mit "Maja" (Abb. 8).

Die Informationsverarbeitung besitzt eine eingehende Information aus p_2 sowie den Erwartungshorizont R^{EH} aus p_3 als Eingabe. Die Informationsverarbeitung ordnet in Verbindung mit R^{EH} die eingehende Information einem Merkmal zu. R^{EH} wird anschließend wieder unverändert in p_3 zurückgelegt. Die Ausgabe in p_4 ist strukturell diesselbe stochastische MWR mit Superwurzel, die wir hier "Ergebnishorizont" R^{Erg} nennen, allerdings nun mit anderen Gewichten. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung auf den Blättern von R^{Erg} repräsentiert das Erkennergebnis.

Der Erkenner (Abb. 9 links) erhält also die Information "Maja" als Sprachsignal. Gemäß des Erwartungshorizonts in p_3 wird dieses Signal als Name identifiziert, allerdings kann aufgrund der Lautähnlichkeit nicht festgestellt werden, ob nun tatsächlich der Vorname "Maja" oder der Nachname "Meier" gemeint war. Sicher ist aber, dass es sich weder um eine Ziffernfolge (also Direkteingabe der Telefonnummer) noch um den Befehl "Abbruch" handelt. Diese Information befindet sich nun als Ergebnishorizont in p_4 (Abb. 9 rechts).

Die Stellen p_3, p_4 und p_5 liefern nun die Eingabeparameter für die Informationsdatenbank. R^{EH} und R^{Erg} bilden in Kombination die Information nach der in der Datenbank gesucht werden soll. R^{IS} wird mit den Suchergebnissen aktualisiert und in p_5 zurückgelegt. Sollte das Suchergebnis nicht eindeutig sein, wird über die Informationsdatenbank eine MWR R^{bI} in p_5 generiert, welche die noch benötigten Informationen für den Abschluss der Informationsübertragung repräsentiert.

Nachdem der Erkenner mit einer hohen Wahrscheinlichkeit die Erwartung des nachgefragten Namens bestätigt hat, wird nun also in der Datenbank in den Vornamen nach "Maja" und in den Nachnamen nach "Meier" gesucht (bzw. nach Einträgen in Vor- und Nachname, die ausgesprochen der erkannten Lautfolge entsprechen)(Abb. 10). Beides existiert in der Datenbank und wird als Ergebnis in R^{IS} gespeichert, indem die Gleichverteilung der Gewichte durch die entsprechende Erkenngüte ersetzt werden. Leider ist die Suche daher nicht eindeutig und es erfolgt eine Auswertung, die das Merkmal "Ort" als hochgradig identifizierend einstuft und diese Information in R^{bI} einträgt (sehr hohe Gewichtung von "Ort", sehr geringe Gewichtung von "Name").

In p_5 befinden sich jetzt also aktualisierte MWRen R^{IS} und R^{bI}. Sofern der Informationsstatus vollständig ist, kann die Informationsübertragung abgeschlossen werden und die aktuelle Information, in Form der Marken R^{IS} wird an p_6 übertragen. Falls es sich allerdings um unvollständige Informationsbestandteile handelt, beginnt das System den eben erklärten Zyklus von vorne, wobei durch den Prompt auf Basis der gerade aktualisierten MWR R^{bI} wieder ein vollkommen neuer Erwartungshorizont erstellt wird.

Das Ende des ersten Durchlaufs in unserem Beispiel liefert uns die Information, dass der gewünschte Teilnehmer entweder den Vornamen "Maja" oder den Nachnamen "Meier" besitzt.[9] Diese Information ist nicht eindeutig und ermöglicht keinen Abschluss des Tasks. In diesem Fall wird also auf Basis von R^{bI} ein neuer Zyklus gestartet. Der Prompt generiert einen neuen Erwartungshorizont, welcher einen Ort als Erwartung widerspiegelt, worauf der Anrufer ihm "Sidney" nennt. Hätten wir nun keinen Erwartungshorizont, würde der Erkenner sowohl den Teilnehmer "Sidney Meyer" aus "Berlin" als auch "Maja Brandl" aus "Sydney" für möglich halten. Das Ergebnis wird durch den Erwartungshorizont relativiert und wir erhalten nach zwei Schritten "Maja Brandl" aus "Sidney" als eindeutig indentifizierten Anrufpartner und sind in der Lage den Task abzuschließen.

3 Ausblick

Ziel ist es, dieses abstrakte Modell in die Realität umzusetzen und die Transitionen zu implementieren. Nach Möglichkeit wollen wir hierfür weiter farbige Petrinetze verwenden. Als nächsten Schritt soll das vorgestellte Modell komplett mit Kanten- und evtl. Transitionbeschriftungen formalisiert werden.

Literatur

1. X. Huang, A. Acero, and H.-W. Hon. *Spoken Language Processing*. Prentice Hall International, 2001.
2. K. Jensen. *Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use.*, volume 1-3 of *Monographs in Theoretical Computer Science*. Springer, 1992, 1994, 1997.
3. C. E. Shannon. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3):379–423, 1948. Continued in following volume.

[9] In diesem Fall sind die Gewichte g_i in R^{IS} aus Abbildung 5 verändert worden. Möglich wäre jetzt $g_{Vorname} = 1$ von DBeintrag2 und $g_{DBeintrag2} = 1$.

Appendix

Zur Illustration stellen wir hier einige ergänzende Bilder zur Verfügung.

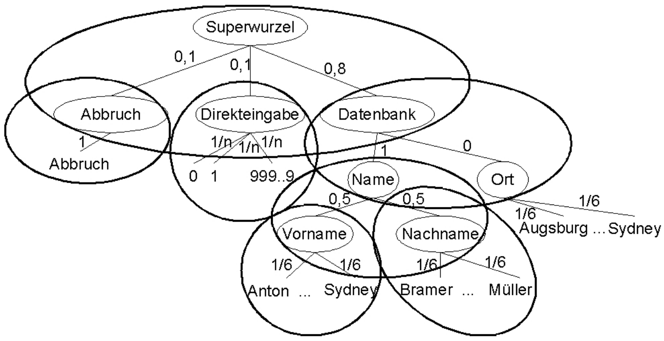

Abbildung 6. Jeder Kreis entspricht einer Marke (R_m, π_m) in p_3 in Abbildung 7

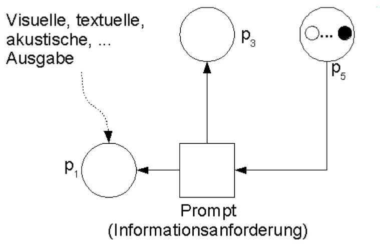

Abbildung 7. Der Prompt generiert aufgrund von R^{bI} aus p_5 eine Anfrage in p_1 nach dem Namen und einen damit verbundenen Erwartungshorizont in p_3.

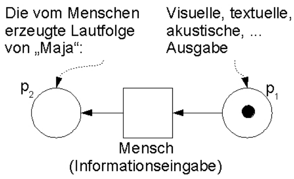

Abbildung 8. Der Teilnehmer antwortet auf den Prompt mit “Maja”

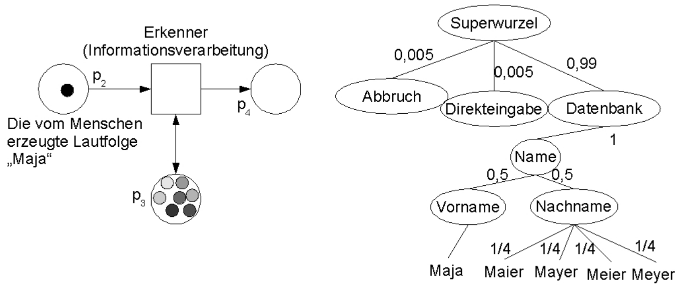

Abbildung 9. p_2 und p_3 dienen als Eingabe für den Erkenner. Dieser kann die Lautfolge “Maja” dem Merkmal “Name” zuordnen. “Abbruch” und “Direkteingabe” sind ausgeschlossen und deren Blätter werden im Ergebnishorizont in p_4 nicht berücksichtigt.

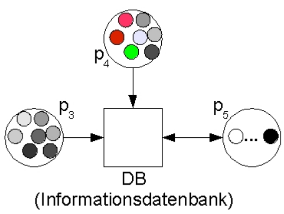

Abbildung 10. Die Datenbank erhält den Erwartungs- und Ergebnishorizont, sowie den Informationsstatus. Aufgrund dessen wird der Informationsstatus aktualisiert, sowie ggf. noch die benötigten Informationen generiert.