

Von der Prädikatenlogik zur unternehmerischen Entscheidungsunterstützung

Friedhelm Kulmann und Wilhelm Rödder

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Operations Research
FernUniversität in Hagen
friedhelm.kulmann@fernuni-hagen.de

Zusammenfassung Mit der Expertensystemshell SPIRIT steht ein mächtiges Instrument zur unternehmerischen Entscheidungsunterstützung auf der Basis probabilistischen konditionalen Wissens zur Verfügung. In mehreren Arbeiten - wie zum Beispiel [5], [3] - wurde über ihren professionellen Praxiseinsatz berichtet. Wegen der hohen Komplexität der Entscheidungsmechanismen bedarf es zumeist intensiver Gespräche bis zur Akzeptanz der zugrunde liegenden Theorien; letzte Zweifel werden jedoch häufig nicht ganz ausgeräumt. Mit diesem Beitrag wird nun für die Verwendung von SPIRIT ein neues Einsatzgebiet gewählt und damit ein noch nicht da gewesener Zugang geschaffen. Konditionalmodelle sind auch zur Lösung prädikatenlogischer Aufgaben geeignet, wie sie beispielsweise in sogenannten Logikrätseln gestellt werden. Damit wird gleichsam für derartige Aufgaben eindrucksvoll nachgewiesen, dass die Fähigkeit des Menschen zur Deduktion von Wissen aus Wissen auf dem Computer formalisierbar ist. Nach der verbalen Formulierung einer beispielhaft ausgewählten prädikatenlogischen Aufgabe wird diese in der Shell SPIRIT kausal modelliert und für verschiedenartige Fragestellungen eindeutig gelöst. Im letzten Teil des Beitrags wird durch Aufzeigen von Analogien deutlich, dass der Weg von »Logeleien« zu ernsthaften ökonomischen Anwendungen nicht weit ist. Mit dem Verständnis des Mechanismus zur Modellierung und Lösung prädikatenlogischer Aufgaben kann so vielleicht der Widerstand gegen die Verwendung probabilistischer, mathematisch fundierter Konzepte abgebaut werden.

1 Einleitung

Zentraler Bestandteil einer wissensbasierten Modellierung unternehmerischer Entscheidungsprobleme ist die Erfassung der Zusammenhänge durch Bausteine, die als prädikatenlogische Formeln interpretiert werden können. Die Prädikatenlogik ist in idealer Weise geeignet, die interne Struktur von Aussagen zu berücksichtigen und Beziehungen zwischen Eigenschaften von Objekten zum Ausdruck zu bringen (vgl. [1]). Letztlich ist es auch möglich, mit ihr Fragen zu formulieren und Antworten aus dem bisher »Gelernten« abzuleiten. Sie kann damit gleichsam als Vorstufe zur Umsetzung des Entscheidungsproblems in die probabilistische Konditionallogik genutzt werden.

Leider muss bei Unternehmen, die potentielle Nutzer leistungsstarker Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung sind, einerseits eine generelle Skepsis

hinsichtlich der Anwendbarkeit und andererseits Misstrauen bezüglich vorgeschlagener Entscheidungen festgestellt werden. Wir haben deshalb in diesem Beitrag nicht den klassischen Zugang über die ausführliche Darstellung der verwendbaren reichhaltigen Sprache und des eingesetzten Inferenzmechanismus gewählt, sondern nutzen das jedem vertraute weite Feld der Logikrätsel, um das System SPIRIT als Instrument der Entscheidungsunterstützung vorzustellen (vgl. [6]).

Im Kapitel 2 erfolgt nach der Präsentation eines Rätsels dessen Formalisierung in der Notation der Prädikatenlogik. Die Umsetzung als Wissensbasis des probabilistischen Systems SPIRIT wird im Kapitel 3 vorgenommen; außerdem wird der Inferenzmechanismus erläutert, und beispielhaft werden einige Anfragen gestellt. Kapitel 4 zeigt - wie eingangs angedeutet - logisch gleich strukturierte, unternehmerische Fragestellungen auf, die analog beantwortet werden können.

2 Vom Wortmodell zu logischen Strukturen

Zur Vorbereitung der Nutzung von Computersystemen bei der Lösung von Aufgaben aus dem unternehmerischen Umfeld müssen die relevanten Größen und Einflussfaktoren zunächst verbal formuliert werden. Das daraus resultierende, noch nicht formalisierte sogenannte Wortmodell ist daraufhin in seiner kausalen Struktur zu analysieren und in eine Sprache zu übersetzen, die mit ihrem Formalismus diese Abhängigkeiten unmittelbar zum Ausdruck bringt.

Bei Aufgaben aus dem Bereich der Logik ist das Wortmodell zumeist auf ein Minimum reduziert, und man ist zur Lösung gestellter Fragen aufgefordert, die oben genannte Analyse und Umsetzung - zumindest gedanklich - vorzunehmen. Besonders schwierig sind diese Punkte dann, wenn das Lösen der Aufgabe durch fehlende Assoziationsmuster erschwert wird. Als Beispiel diene das nun folgende, von JANKO, A. und JANKO, O. im Internet veröffentlichte Rätsel, das mit »Pprills, Squirde und Glopps« überschrieben ist (s. [2]).

»Alle gebildeten Leute wissen nun, dass Pprills, Squirde und Glopps einfach nur Formen von Nahfen sind. Es ist außerdem bewiesen, dass Squirde sowohl Glopps als auch Nahfen sind.

Allerdings gibt es eine Komplikation: Neuerdings fand man heraus, dass es Glopps gibt, die weder Squirde, Pprills noch Gdynxe sind. Zusätzlich gibt es noch Squirde, die weder Gdynxe noch Pprills sind.

Zugegebenermaßen, manche Pprills und manche Gdynxe sind Glopps, und manche Squirde auch. Aber jetzt wissen wir mehr über Gdynxe: Manche sind Squirde, manche Glopps und manche komischerweise sowohl Pprills als auch Squirde.

- a) Gibt es unter den Gdynxen, die keine Nahfen sind, Glopps?
- b) Wenn ein Pprill ein Squird ist, ist es dann auf jeden Fall ein Glopp? [...]

- c) Gibt es in diesem Universum tatsächlich eine Kreatur, die in der Situation ist, von sich behaupten zu müssen, sowohl ein Pprill und ein Nahf als auch ein Squird und ein Glopp und obendrein auch noch ein Gdynx zu sein?« (vgl. [2])

Der erste Schritt der Formalisierung besteht in der Beschreibung der einstelligen Prädikate **Nahf**, **Glopp**, **Squird**, **Pprill**, **Gdynx**, die zur Charakterisierung von Objekten verwendet werden. Das vollständige Ergebnis der Umsetzung sind die folgenden Formeln 1 bis 10.

1. $\forall x: \text{Glopp}(x) \longrightarrow \text{Nahf}(x)$
2. $\forall x: \text{Squird}(x) \longrightarrow \text{Nahf}(x)$
3. $\forall x: \text{Pprill}(x) \longrightarrow \text{Nahf}(x)$
4. $\forall x: \text{Squird}(x) \longrightarrow (\text{Glopp}(x) \wedge \text{Nahf}(x))$
5. $\exists x: \text{Glopp}(x) \wedge (\neg \text{Squird}(x) \wedge \neg \text{Pprill}(x) \wedge \neg \text{Gdynx}(x))$
6. $\exists x: \text{Squird}(x) \wedge (\neg \text{Gdynx}(x) \wedge \neg \text{Pprill}(x))$
7. $\exists x: \text{Pprill}(x) \wedge \text{Glopp}(x)$
8. $\exists x: \text{Gdynx}(x) \wedge \text{Glopp}(x)$
9. $\exists x: \text{Gdynx}(x) \wedge \text{Squird}(x)$
10. $\exists x: \text{Gdynx}(x) \wedge (\text{Pprill}(x) \wedge \text{Squird}(x))$

Es handelt sich ausnahmslos um mit dem Allquantor gebundene Implikationen (1 bis 4) oder um Existenzaussagen (5 bis 10). Im nun folgenden Kapitel 3 wird mit der Einbettung in ein System zur probabilistischen Wissensverarbeitung die Möglichkeit der Beantwortung komplexer Fragestellungen in diesem Universum skuriler Kreaturen geboten.

3 Die logische Struktur als Wissensbasis

Zur Umsetzung in eine probabilistische Wissensbasis werden zunächst die einstelligen Prädikate als boolesche Variable interpretiert. **Nahf**, **Glopp**, **Squird**, **Pprill**, **Gdynx** bilden im obigen Beispiel die vollständige Variablenmenge, deren positive und negative Ausprägungen somit den Ereignisraum Ω repräsentieren. Formeln, die durch die Verknüpfung mittels Konjunktion, Disjunktion und durch Negation entstehen, sind in natürlicher Weise mit Ereignissen aus Ω identifizierbar. Zur Repräsentation der in prädikatenlogischen Formeln zum Ausdruck gebrachten Implikation wird das Konditional verwendet. Der Allquantor bringt die Allgemeingültigkeit einer Formel zum Ausdruck; bei der Einbettung in die probabilistische Wissensbasis gilt das entsprechende Konditional mit Sicherheit. Durch den Existenzquantor wird eine schwache Forderung für den jeweiligen unconditionierten Ausdruck aufgestellt; die Wahrscheinlichkeit muss echt positiv sein. Die damit auftretenden Modellierungsfragen werden im späteren Beispiel diskutiert.

Aus den Formeln 1 bis 10 ergeben sich für SPIRIT unmittelbar die in der Abbildung 3 gezeigten Konditionale. Da im Beispiel nur qualitative Angaben gemacht werden, wird bei der Umsetzung der Existenzaussagen in die

SPIRIT-Syntax eine positive (kleine) Wahrscheinlichkeit für die Gültigkeit der konditionierten Aussage angenommen. Da der numerische Wert das Ergebnis nicht beeinflusst, wurde hier 0,01 gewählt.

P prescr	P act	Rule text
1	1,000	Nahf Glopp
1	1,000	Nahf Squird
1	1,000	Nahf Pprill
1	1,000	(Glopp \wedge Nahf) Squird
0,01	0,010	Glopp \wedge (\neg Squird \wedge \neg Pprill \wedge \neg Gdynx)
0,01	0,010	Squird \wedge (\neg Gdynx \wedge \neg Pprill)
0,01	0,010	Pprill \wedge (Glopp)
0,01	0,010	Gdynx \wedge (Glopp)
0,01	0,010	Gdynx \wedge (Squird)
0,01	0,010	Gdynx \wedge (Pprill \wedge Squird)

Abbildung 1. Wissensbasis zum Logikrätsel »Pprills, Squirde und Glapps«

SPIRIT ermöglicht auf der Basis gesicherter informationstheoretischer Erkenntnisse die Generierung einer Wissensbasis, die alle geforderten Kausalitäten mit den angegebenen Wahrscheinlichkeiten repräsentiert und darüber hinaus keine nicht intendierten Abhängigkeiten zwischen Variablen anlegt. Mathematisch geschieht dieser informationstreue Wissensaufbau durch die Wahrung des Prinzips maximaler Entropie (siehe [6]). Abbildung 3 zeigt den im System angezeigten sogenannten (ungerichteten) Abhängigkeitsgraphen mit den Variablen als Knoten, die als zusätzliche Angabe die jeweilige Randverteilung ausweisen (zum theoretischen Hintergrund siehe auch [4]).

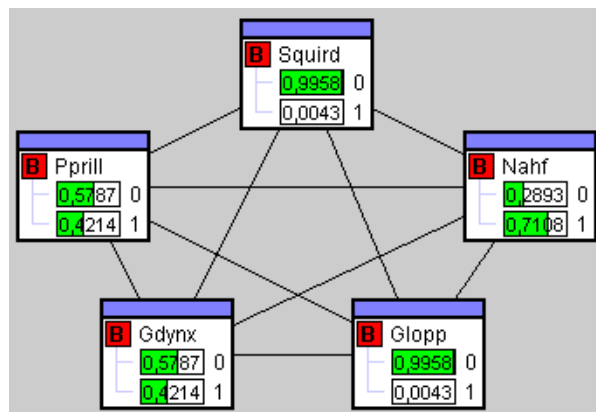


Abbildung 2. Abhängigkeitsgraph zum Logikrätsel

Bisher unbeantwortet geblieben sind die in Kapitel 2 gestellten Fragen. Wahrscheinlichkeitstheoretisch formuliert lautet beispielsweise Teil a): »Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit für ein Glopp, unter der Bedingung, dass es Gdynx und kein Nahf ist?« Als Anfragekonditional für die Wissensbasis ist die formale Schreibweise: $[?] \text{Glopp} | (\text{Gdynx} \wedge \neg \text{Nahf})$ (siehe auch Abbildung 3). Unter Verwendung des in SPIRIT implementierten Inferenzmechanismus können die im Abschnitt 2 unter a), b), c) gestellten Fragen nun beantwortet werden (vgl. hierzu [6], [7]).

P act	Rule text
0,000	$\text{Glopp} (\text{Gdynx} \wedge \neg \text{Nahf})$
1,000	$(\text{Glopp} \text{Pprill}) (\text{Squird} \text{Pprill})$
0,010	$\text{Pprill} \wedge \text{Nahf} \wedge \text{Squird} \wedge \text{Glopp} \wedge \text{Gdynx}$

Abbildung 3. Anfragen zum Logikrätsel

- Es gibt unter den Gdynxen, die keine Nahfen sind, **keinen** Glopp.
- Wenn ein Pprill ein Squird ist, dann ist es **auf jeden Fall** ein Glopp.
- Es ist zwar unwahrscheinlich, aber es gibt in diesem Universum **tatsächlich** eine Kreatur, die in der Situation ist, von sich behaupten zu müssen, sowohl ein Pprill und ein Nahf als auch ein Squird und ein Glopp und obendrein auch noch ein Gdynx zu sein.

Nach Behandlung der logisch abstrakt gestellten Aufgabe bleibt noch die Frage zu beantworten, welcher Realitätsbezug dabei existieren könnte.

4 Das unternehmerische Entscheidungsproblem

Das Management eines Unternehmens steht - so ist jedenfalls zu hoffen - nur in den seltensten Fällen vor einem Rätsel; dennoch sind die logischen Problemstrukturen oft ähnlich. Deshalb soll das obige Beispiel in die Terminologie des Marketings übertragen und als Analyse der Kundenstruktur einer Supermarktkette zwecks Durchführung zielgerichteter Werbemaßnahmen interpretiert werden. Die logische Äquivalenz der Aussagen lässt sich beim direkten Vergleich mit den ursprünglichen Formulierungen im Kapitel 2 unmittelbar nachvollziehen.

Laut Umfrage gibt es u.a. drei typische Zielgruppen von Kundinnen, nämlich Mütter, Halbtagsbeschäftigte und Hausfrauen. Die halbtags Beschäftigten unter den Kundinnen pflegen aufgrund ihrer besonderen Situation auch den Haushalt zu führen. Andererseits gibt es durchaus Hausfrauen, die weder halbtags beschäftigt sind, noch ein Kind haben, noch alleinerziehend sind. Weiterhin sind gewisse halbtags Beschäftigte weder alleinerziehend noch haben sie ein Kind. Mütter und Alleinerziehende können ebenso Hausfrauen sein

wie manche Halbtagsbeschäftigte auch. Ist eine Kundin Alleinerziehende, so kann sie durchaus halbtags beschäftigt oder Hausfrau oder sogar halbtagsbeschäftigte Mutter sein,

Diese etwas unstrukturierten Gruppenabhängigkeiten sind durch offene Interviews ermittelt worden und können als gesichert gelten. Erstaunlicherweise lassen sich aus den unvollständigen Angaben wichtige Folgerungen über die Gesamtstruktur der Kundinnen im Hinblick auf Werbemaßnahmen ziehen. Die Aussagen ergeben sich unmittelbar aus der Übertragung der zum Ende des letzten Kapitels gegebenen Antworten.

- a) Die Neukundenwerbung für die Zielgruppe »Alleinerziehende« erreicht keinesfalls auch »Hausfrauen«.
- b) Mütter, die halbtags beschäftigt sind, werden automatisch auch über die Werbebotschaft für Hausfrauen angesprochen.
- c) Es gibt durchaus eine Gruppe von Kundinnen - wenn auch eventuell eine kleine -, die auf jede zielgruppengerichtete Werbekampagne reagiert.

5 Fazit und Ausblick

Mit dem Einstieg in die komplexe Thematik der probabilistischen Wissensverarbeitung und der Modellierung konditionaler Strukturen über eine als Logikrätsel gestellte Aufgabe wurde eine neuartige Sichtweise auch für die Lösung unternehmerischer Fragestellungen eröffnet. Bereits das vorgestellte einfache Beispiel hat eindrucksvoll die Notwendigkeit der Erfassung komplexer logischer Abhängigkeiten deutlich gemacht. Außerdem wurde gezeigt, dass wissensbasierte Systeme nicht nur in der Lage sondern auch dringend erforderlich sind, um geeignete Strukturierungshilfe bei Entscheidungsproblemen zu bieten.

Literatur

1. Genesereth, M.R.; Nilsson, N.J. (1989): Logische Grundlagen der Künstlichen Intelligenz, *Vieweg, Braunschweig, 1989*.
2. Janko, A.; Janko, O. (2002): Rätsel und Denksport.
<http://www.janko.at/Raetsel/Logik/003.a.htm> (Stand August 2002).
3. Kulmann, F. (2002): Wissen und Information in konditionalen Modellen - zur Entscheidungsvorbereitung im Anfrage- und Auftragsmanagement, *DUV Gabler, Wiesbaden, 2002*.
4. Meyer, C.-H. (1998): Korrektes Schließen bei unvollständiger Information, *Europäische Hochschulschriften, Peter Lang, Frankfurt a.M., 1998*.
5. Kulmann, F.; Reucher, E. (2000): Computergestützte Bonitätsprüfung bei Banken und Handel, *DBW - Die Betriebswirtschaft, 60 (2000) 113-122*.
6. Rödder, W. (2000): Conditional Logic and the Principle of Entropy, *Artificial Intelligence, 117 (2000) 83-106*.
7. Rödder, W. (2001): Knowledge Processing under Information Fidelity, *Proc. IJCAI 2001 - Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Seattle, Washington (2001) 749-754*.