

# Kontextverarbeitung und -bewertung mit Bayes'schen Netzen bei kontextsensitiven Diensten

Yingfan Lei, Rudi Knorr

Fraunhofer Einrichtung für Systeme der Kommunikationstechnik, Hansastraße 32,  
80686, München, Deutschland  
{yingfan.lei,rudi.knorr}@esk.fraunhofer.de  
<http://www.esk.fraunhofer.de>

**Zusammenfassung.** Im Zukunftsszenario "Ubiquitous Computing" sind alle Geräte im Büro mit einem Netzwerk verbunden. Daraus ergeben sich viele Vorteile, vor allem aber wird es möglich sein, den Standort von Anwendern und Geräten zu erfassen. Wird dieses Wissen genutzt, können viele Anwendungen dem Benutzer bessere Dienste anbieten. Solche kontextsensitiven Dienste beziehen in ihre Berechnungen beispielsweise Ortsinformationen ein. Diese beeinflussen dann das Verhalten des Dienstes. Werden viele Kontextinformationen einbezogen, reicht ein einfaches Datenbanksystem oder ein "Wenn-dann"-Modell nicht aus. Bei weniger genauen, nur abschätzbaren oder hoch dynamischen Kontextinformationen sind Bayes'sche Netze mit ihrer Wahrscheinlichkeitsberechnung und ihrer Lernfähigkeit die geeignetere Methode zur Kontextbewertung.

## 1 Einführung

Zur sinnvollen Kontextbewertung sollte ein System die verschiedenen Merkmale eines Kontexts berücksichtigen: mit hoher oder niedriger Genauigkeit messbar, nur statistisch abschätzbar, statisch oder dynamisch [1, 2]. Zusätzlich sollte auch deren Beziehung zueinander betrachtet werden.

- Welche logischen Zusammenhänge bestehen zwischen den Kontextinformationen?
- Mit welcher Wahrscheinlichkeit treten die Werte auf?
- Wie verändern sich diese Wahrscheinlichkeiten im Laufe der Zeit?

Bei konventioneller Datenbanktechnik müssten die Wahrscheinlichkeitsberechnungen wiederholt ausgeführt werden, da die kausalen Beziehungen im Sourcecode hinterlegt sind. Diese Methode ist also wegen der Dynamik des Kontexts nicht geeignet. Auch ein Regelbasiertes oder Policy-basiertes System kann nicht angewandt werden, denn die in den Regeln definierte Wahrscheinlichkeit kann während der Laufzeit des Systems nur schwer geändert werden.

## 2 Bayes'sches Netz zur Kontextverwertung

Bayes'sche Netze (BN) aus der Wahrscheinlichkeitslehre dienen zur Darstellung der Wahrscheinlichkeit von kausalen Beziehungen zwischen Informationen. Das statistische und stochastische Modell wird in einem gerichteten und zyklusfreien Graph (DAG) realisiert. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten werden pro Knoten im BN in einer Wahrscheinlichkeitstabelle abgelegt. Die Kanten zwischen den Knoten richten sich nach dem kausalen Zusammenhang. Die Berechnung erfolgt durch das Netz und schätzt die Wahrscheinlichkeit der Zufallsereignisse aufgrund bestimmter Ursachen ab. BN werden beispielsweise auch genutzt, um Spam-E-Mails zu identifizieren [6–8].

### 3 Beispielhaftes Szenario: Bayes'sches Netz im Druckerdienst

In einem Proof of Concept wurde von Fraunhofer ESK ein Internet Print Service (IPS) entwickelt, der dem Nutzer, basierend auf der Entfernung und den zwei zuletzt genutzten Druckern, ein geeignetes Gerät vorschlägt. Ein BN wird beispielsweise in Abb. 1 gegeben. In die Berechnung fließen zusätzlich die Wahrscheinlichkeiten aller Zufallsereignisse aller Benutzer ein, wie zum Beispiel wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Benutzer den nächsten Drucker benutzen. So kann eine solide Datenbasis sichergestellt werden. In der Lernphase greift das BN für die Adaption der Wahrscheinlichkeiten auf diese Datenbasis zu. Um die Vorschläge individuell an den Benutzer anzupassen, werden die Geräte der beiden letzten Druckvorgänge einbezogen. Da lediglich die zwei letzten Vorgänge berücksichtigt werden, kann sich das System schnell an ein geändertes Nutzungsverhalten anpassen.

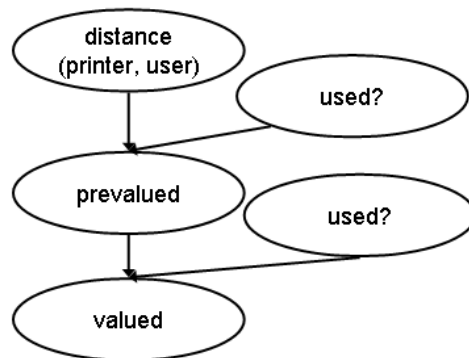


Abb. 1. Ein Beispiel-BN für IPS

Zur Initialisierung des BNs werden beispielsweise folgende Wahrscheinlichkeitstabellen für die ersten drei Knoten angelegt. In Abbildung 2 findet man die drei Wahrscheinlichkeitstabellen für das BN in Abbildung 1, wobei die dritte Wahrscheinlichkeitstabelle die bedingte Wahrscheinlichkeit von einer guten, durchschnittlichen oder schlechten Zwischenauswertung darstellt. Mit Hilfe des klassischen "Variable-Elimination"-Algorithmus wird eine Inference ausgeführt, um eine Schlussfolgerung in Form einer Verbundwahrscheinlichkeit zu erhalten. Die Wahrscheinlichkeitstabellen können jederzeit mit einem Adaptionalgorithmus aktualisiert werden. Ein Datensatz wird mit den Einträgen in den Wahrscheinlichkeitstabellen verglichen. Sobald eine Übereinstimmung auftritt, wird der entsprechende Eintrag in der Wahrscheinlichkeitstabelle des Knotens mit einem Fading-Koeffizienten wie beispielsweise 0,99 multipliziert und danach um 0,01 erhöht. Ansonsten wird die Wahrscheinlichkeit um 0,01 reduziert.

### 4 Technische Realisierung

In Abbildung 3 wird der Aufbau des Prototyps für IPS illustriert. Zur Drucker- und Druckaufgabeverwaltung wird das Open-Source-Produkt Common Unix Printing System (CUPS) eingesetzt, das das standardisierte Internet Printing Protocol (IPP) implementiert. CUPS ist ein selbständiges Verwaltungssystem. Das LINUX-Programm SAMBA ermöglicht CUPS den Zugriff auf Dateien und Drucker in Windows-Netzwerken. Über ein Web-Interface können die Benutzer zum Beispiel

P(dist=far)	P(dist=medium)	P(dist=near)	
0,3333	0,3333	0,3333	
P(used1=nc)	P(used1=unavailable)	P(used1=yes)	
0,3333	0,3333	0,3333	
	P(prevalued=low)	P(prevalued=medium)	P(prevalued=high)
P(dist=far, used1=no)	1	0	0
P(dist=far, used1=unavailable)	0,5	0,5	0
P(dist=far, used1=yes)	0,5	0,5	0
P(dist=medium, used1=no)	0,5	0,5	0
P(dist=medium, used1=unavailable)	0	1	0
P(dist=medium, used1=yes)	0	0,5	0,5
P(dist=near, used1=no)	0	1	0
P(dist=near, used1=unavailable)	0	0,5	0,5
P(dist=near, used1=yes)	0	0	1

Abb. 2. Initialisierte Wahrscheinlichkeitstabelle

PDF-Dokumente an das System ohne Treiberinstallation schicken. Das System erfragt bei einer WLAN Position Engine den aktuellen Standort des Nutzers. Anschließend werden diese Daten über eine Socketverbindung an eine Decision Engine (DE) weitergeleitet. Die implementierte DE, die das Bayesian Net Java Tools von Kansa State University Lab [9] verwendet, ist ein socket-basierter Multithread-Server. Die DE bearbeitet die Web-Anfrage und übernimmt die periodische Aktualisierung der Parameter. Die Ergebnisse der Auswertung dienen dem Nutzer als Entscheidungshilfe. Das eingesetzte BN wird durch eine text-basierte Datei konfiguriert. Damit kann die DE mit minimalem Anpassungsaufwand wiederverwendet werden. Der nutzerspezifische Druckauftrag wird an CUPS weitergeleitet und der Nutzer erhält eine Benachrichtigung über das Ergebnis seines Druckvorgangs. Zudem ist eine Authentifizierung über einen Apache-Web-Server möglich. Die Gestaltung des Web-Interfaces lässt sich anpassen.

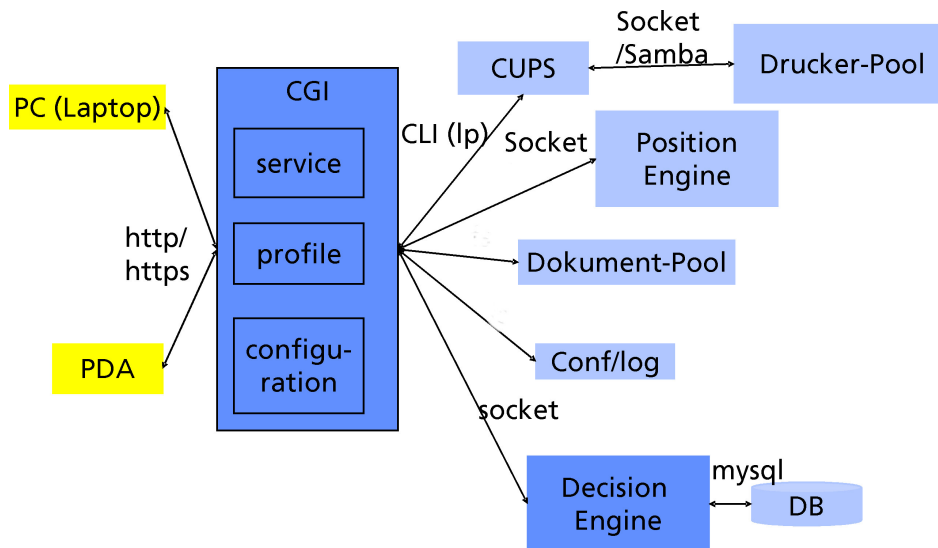


Abb. 3. Aufbau von IPS

## 5 Einsatzmöglichkeiten

Die Einführung eines expliziten Context Layers ermöglicht die Organisation und Bewertung von Kontextinformationen. Neben den Lösungsansätzen wie Policy Management System [3] oder Ontologie-Methoden wie beispielsweise bei der Metadaten-Modellierung [4, 5] haben die Lösungen mit Bayes'schen Netzen aus der Wahrscheinlichkeitslehre mit ihrer Lernfähigkeit vor allem für die Kontextbewertung und Lernfähigkeit viele Vorteile.

Ähnlich wie die Aussagenlogik kann ein BN die Aussagen in Form von Ereignissen modellieren und durch Konjunktion, Disjunktion und Implikation usw. bewerten. Eine Kontextauswertung basiert insbesondere auf einer Klassifikation eines Kontexts, auch im Fall von einigen fehlenden Kontextinformationen. Andererseits kann man mit BN die "ist-Teil-von"-, und "ist-Erweiterung-von"-Beziehungen usw. nicht direkt modellieren. Außerdem kann man mit BN keine allgemeinen wissensdomainübergreifende Lösungen finden. Dies kann jedoch durch eine flexible Konfiguration von BN-Netzen während eines System-Designs beseitigt werden. BN-Netze akzeptieren außer der klassischen physischen Wahrscheinlichkeit auch die vermutete Wahrscheinlichkeit. Dies kann der Initialisierung des BNs hilfreich sein, falls die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Während BN für die Auswahl von Druckern überdimensioniert sind, bieten sie eine sehr gute Methode zum Auffinden von Diensten oder zur Entwicklung eines persönlichen Unterhaltungsorganisations für mobile Begleiter. Die von Fraunhofer ESK entwickelte Decision Engine wurde als selbständiges Tool entworfen und kann in anderen Anwendungsfällen eingesetzt werden: zum Beispiel um Ranglisten beim Online-Shopping oder bei Suchmaschinen zu erstellen, zur Priorisierung der Aufgaben am Arbeitsplatz oder zum Aufbau eines intelligenten Entscheidungsassistenten für E-Business, usw.

## References

1. Schmidt, H.-W. Gellersen: Modell, Architektur und Plattform für Informationssysteme mit Kontextbezug, Informatik Forschung und Entwicklung, Band 16, Heft 4 (November 2001) 213-224.  
[http://www.comp.lancs.ac.uk/älbrecht/pubs/pdf/schmidt\\_fuzzySpace\\_springer.pdf](http://www.comp.lancs.ac.uk/älbrecht/pubs/pdf/schmidt_fuzzySpace_springer.pdf)
2. Heinz-Gerd Hegering, Alex Kuepper, Claudia Linnhof-Popien, Helmut Reiser: Management Challenges of Context-Aware Services in Ubiquitous Environments. In Self Managing Distributed System 14th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management, DSOM (Oktober 2003) 246-259.  
<http://www.nm.informatik.uni-muenchen.de/Literatur/MNMPub/publikationen.shtml>
3. Caroline Funk, Björn Schiemann: Policy-Based Context-Management for Mobile Solutions. GI Jahrestagung (2) 2004: 266-270
4. Fuchs, F., Hochstatter, I., Krause, M., Berger, M., A Meta-Model Approach to Context Information, In Proceedings of 2nd IEEE PerCom Workshop on Context Modeling and Reasoning (CoMoRea) (at 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication (PerCom 2005)), IEEE, Hawaii, USA, März, 2005.
5. Karen Henriksen, Jadwiga Indulska, Andry Rakotonirainy: Modeling Context Information in Pervasive Computing Systems. Pervasive 2002 (September 2002) 167-180
6. Finn V. Jensen: Bayesian Networks and Decision Graphs - Statistic for Engineering and Information Science. Springer (2001)
7. Hermann Ney: Maschinelle Sprachverarbeitung. der statistische Ansatz in der Spracherkennung und Sprachübersetzung. Informatik Spektrum (Mai 2003) 94-102
8. Flavia Sparacino: Storychastics - A Bayesian Network Architecture for User Modeling and Computational Storytelling for Interactive Spaces. 5th International Conference Proceedings, Seattle, WA, USA (Oktober 2003)
9. Kansa State University Lab: Bayesian Network Tools in Java  
<http://bnj.sourceforge.net/>