

Verarbeitung von Sensordaten in Dynamischen Bayesschen Netzen

Boris Brandherm

Universität des Saarlandes, Fachrichtung Informatik
Postfach 15 11 50, D-66041 Saarbrücken
brandherm@cs.uni-sb.de

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Überlegungen vorgestellt, wie sich Daten aus Bio- und Umgebungssensoren zur Bewertung der Ressourcenlage einer Person (Zeitdruck und Arbeitsgedächtniskapazität) einsetzen lassen. Dazu wird einerseits ein Bayessches Netz für ausgewählte Biodaten modelliert und andererseits wird gezeigt, daß bei Kombination von physischen und verhaltensabhängigen Symptomen die Zeitscheiben in Dynamischen Bayesschen Netzen auf verschiedene Art und Weise instantiiert werden müssen.

Schlüsselwörter

Benutzermodellierung, Bayessche Netze, Bio- und Umgebungssensoren

1 Einleitung

Innerhalb der letzten drei Jahre nahm die Forschung stark zu, wie man mit Hilfe von Sensoren unterschiedlicher Art den aktuellen Zustand eines Computerbenutzers erkennen kann.

Ein wesentlicher Teil dieser Forschung wurde im MIT-Labor “Affective Computing” durchgeführt (siehe [4] für ein frühes Manifesto sowie [3] für eine neuere Darstellung vieler Aspekte dieser Forschung). Sensoren, die physiologische Meßdaten an den Rechner übermitteln, werden am Körper des Benutzers oder am mobilen Computer angebracht. Verfahren der Mustererkennung und des maschinellen Lernens werden benutzt, um die Meßdaten psychologischen Zuständen zuzuordnen. Die in READY¹ zentral betrachteten Ressourcenbeschränkungen Zeitdruck und Arbeitsgedächtnisbelastung werden wenn überhaupt zumeist nur indirekt berücksichtigt.

Die bisherige Forschung zur Verwendung von Biosensor-Daten deutet darauf hin, daß diese unter gewissen Umständen eine recht effektive Erkennung von Emotionen ermöglichen können aber zur Erkennung von Zeitdruck und Arbeitsgedächtnisbelastung zusätzliche Formen von Evidenz nötig werden.

¹READY ist das Akronym für Ressourcenadaptives Dialogsystem.

Umgebungssensoren – die u.a. kleine Mikrophone und Video-Kameras umfassen – erschließen Daten über die aktuelle Situation in der Umgebung des Benutzers, beispielsweise ob in seiner Nähe gerade Gespräche stattfinden (siehe z.B. [6]) oder ob er sich in einem dunklen Raum oder im Freien befindet (siehe z.B. [8]). Auch solche Informationen erlauben indirekt Rückschlüsse auf die aktuellen Ressourcenbeschränkungen eines Benutzers.

Zu beiden Sensorkategorien wurde bislang hauptsächlich an der Realisierung der Hardware-Komponenten sowie Interpretation der Sensordaten durch Mustererkennungsverfahren geforscht.

Nun geht es darum, die Ergebnisse dieser Mustererkennung mit anderen Typen von Evidenz, beispielsweise mit Informationen aus dem Benutzerverhalten bzw. aus der Interaktionsgeschichte (vgl. [8]), zu kombinieren.

2 Abbildung von Biosensor- und Umgebungsdaten in Bayessche Netze

Im folgenden wird beschrieben, wie sich aufbereitete Daten von Bio- und Umgebungssensoren in Bayesschen Netzen verarbeiten lassen. Mittels einer eigenen Literaturrecherche (siehe u.a. [2], [3], [5] und [7]) wurden einige Bio- und Umgebungsdaten selektiert, die erfolgversprechend für die Erkennung von Streß oder Zeitdruck eines Benutzers erscheinen. Der Fokus dieses Artikels liegt auf den Biosensoren, wobei die Umgebungssensoren im notwendigen Maße angesprochen werden.

Im folgenden Abschnitt werden die ausgewählten Daten und ihre kausalen Zusammenhänge beschrieben, die als gerichteter azyklischer Graph in Abbildung 1 modelliert werden.

2.1 Biosensoren

Mit dem Elektrokardiogrammsensor lassen sich verschiedene Merkmale der *Herztätigkeit* wie z.B. Herzschlagfrequenz (HR)² oder Herzfrequenzvariabilität (HRV)³ bestimmen. Diese Merkmale werden durch innere und äußere Faktoren⁴ beeinflusst. Eine erhöhte emotionale oder kognitive Belastung sowie verstärkte körperliche Tätigkeit lassen die HR ansteigen und die HRV abnehmen. Wurde auf den Benutzer beruhigend eingewirkt oder ist er erholt, so ist bei ihm eine verringerte HR und eine erhöhte HRV feststellbar. Nach [7] sinkt die HRV mit steigender HR. Plötzliche Geräusche (durch den Knoten “äußere Reize” repräsentiert) lassen die HR ansteigen. Ein weiterer Einflußfaktor ist die Atmung; beim Ein- bzw. Ausatmen wird die HR beschleunigt bzw. verlangsamt (sogen. Atmungsarrhythmie).

²HR ist das Akronym für den englischen Begriff *heart rate*.

³HRV ist das Akronym für den englischen Begriff *heart rate variability*.

⁴Größen, die als statisch angesehen werden können wie z.B. Alter oder Trainiertheit der Person, werden hier nicht betrachtet. Vielmehr wird vereinfachend angenommen, daß schon durch den Sensor die entsprechende Bewertung erfolgt ist, d.h. wenn die HR einer Person durch ihr hohes Alter und ihre Untrainiertheit grundsätzlich sehr hoch ist, so wird diese HR für sie als normal angesehen und die Hypothese “normal” im Knoten “Herzschlagfrequenz” instantiiert.

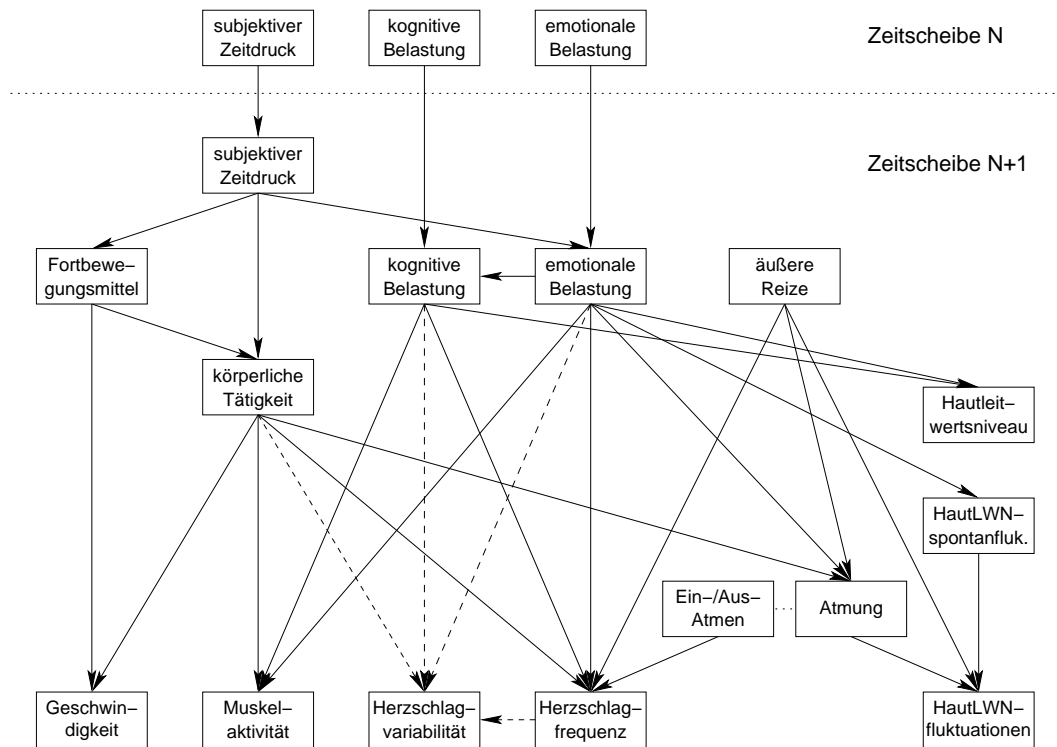


Abbildung 1: Dynamisches Bayessches Netz für Biosensor- und subsumierte Umgebungsdaten. (Einige der Daten, die sich aus den Umgebungssensoren bestimmen lassen, sind in den Knoten “äußere Reize”, “Geschwindigkeit” oder “Fortbewegungsmittel” subsumiert. Im Knoten “äußere Reize” sind z.B. die Hypothesen “Stressor” und “lautes Geräusch” enthalten. Der Knoten “Atmung” als ein Vertreter der Biosensordaten enthält beispielsweise die Hypothesen “langsame und flache Atmung”, “schnelle und tiefe Atmung”, “Sprechen”, “Atemaussetzer”, “unregelmäßige Atmung” und “sonstige”. Der Knoten “Ein-/Ausatmen” enthält z.B. die Hypothesen “einatmen”, “ausatmen” und “sonstige”. Durch einen gepunkteten Strich zwischen beiden Knoten wird signalisiert, daß in diesem Modell vereinfachend angenommen wird, daß sie sich nicht gegenseitig beeinflussen. Die Hypothesen für “körperliche Tätigkeit” könnten z.B. wie folgt lauten: “Stehen”, “Schlendern”, “Gehen”, “Laufen” und “Rennen”. Durchgezogene Kanten beschreiben eine positive kausale Beeinflussung, wohingegen gestrichelte Kanten eine negative kausale Beeinflussung darstellen.)

Mit einem Sensor für *Atemtätigkeit* lassen sich Atemrhythmus (schnell oder langsam) und -amplitude (tief oder flach) eines Benutzers bestimmen und, ob er ein- oder ausatmet, spricht oder einen kurzen Atemaussetzer hatte. Eine schnelle und tiefe Atmung weist auf eine emotionale Belastung oder körperliche Tätigkeit des Benutzers hin. Atmet er jedoch langsam und flach, so ist dies ein Anzeichen für den entspannten und ausgeruhten Zustand des Benutzers. Plötzliche Stressoren⁵ können den Benutzer erschrecken und dabei zu kurzzeitigen Atemaussetzern führen.

Je mehr spontane phasische *Hautleitwertsniveaufluktuationen*⁶ in einer Zeiteinheit auftreten, desto größer ist die emotionale Belastung des Benutzers. Dabei dürfen die

⁵Ein Streß bewirkender Faktor wird auch Stressor genannt.

⁶Spontane phasische Hautleitwertsniveaufluktuationen sind kurzfristige Schwankungen des Hautleitwertsniveaus.

durch äußere Reize oder unregelmäßige Atmung (Husten, Räuspern, tiefes Atemholen) ausgelösten Fluktuationen nicht mitgezählt werden. Das Hautleitwertsniveau eines Benutzers wird sowohl durch kognitive als auch emotionale Belastung erhöht.

Mit einem Elektromyogrammsensor läßt sich *Muskeltätigkeit* erfassen. Wenn ohne eine erkennbare entsprechende körperliche Tätigkeit die Muskeltätigkeit ansteigt, so deutet dies auf eine emotionale oder kognitive Belastung hin. Das Fortbewegungsmittel (die Person kann zu Fuß, per Laufband oder Auto/Zug unterwegs sein) und die körperliche Tätigkeit (“stehen”, ..., “rennen”) bestimmen die Geschwindigkeit, in der sich der Benutzer fortbewegt. Dabei beeinflusst die Wahl des Fortbewegungsmittel den Umfang der ausführbaren körperlichen Tätigkeiten (so wird auf einer Rolltreppe die Person eher stehen oder gehen, aber weniger laufen oder rennen). Die Geschwindigkeit ist durch einen Geschwindigkeitssensor meßbar, und das Fortbewegungsmittel läßt sich mittels Umgebungssensoren bestimmen.

Bei erhöhtem subjektiven Zeitdruck wird die Person eher zu einer schnelleren Gangart übergehen, als wenn sie keinen Zeitdruck verspürt.

2.2 Umgebungssensoren

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, lassen einige Biodaten unter Hinzunahme von Umgebungsdaten aussagekräftigere Schlüsse zu. Beispielsweise liefern Audio- und Videosensoren Daten darüber, daß in Benutzernähe geredet wird. Werden diese mit Atemsensordaten ergänzt, läßt sich erkennen, ob der Benutzer am Gespräch teilnimmt.

Im folgenden Kapitel wird ein Ansatz präsentiert, in dem Evidenzen aus Bio- und Umgebungssensoren zusammen mit Verhaltenssymptomen, wie sie bisher im System READY betrachtet wurden, kombiniert und in Dynamischen Bayesschen Netzen verarbeitet werden können.

3 Kombination von physischen und verhaltensabhängigen Symptomen in Bayesschen Netzen

Im aktuellen READY-Prototypen, welcher sprachliche und motorische Symptome verarbeitet, werden nach einer sprachlichen Äußerung oder einer Geräteeingabe die Sprach- bzw. Handlungsmerkmale spezifiziert und als Evidenz in einer neu erzeugten Zeitscheibe instantiiert. Dies läßt sich als *ereignisgesteuerte Instantiierung* einer Zeitscheibe bezeichnen. Neue Evidenz tritt dabei nur in relativ großen Zeitabständen auf.

Im Gegensatz dazu stehen Evidenzen, die aus den Daten der Bio- und Umgebungssensoren gewonnen werden können. Beispielsweise atmet ein Mensch etwa 10 bis 20 mal pro Minute ein und aus. Die Herzschlagfrequenz liegt sogar um ein Vielfaches darüber. Solche Daten sind offensichtlich ungeeignet, ereignisgesteuert im Bayesschen Netz instantiiert zu werden. Jedoch eignen sich die in einem festgelegten Zeitintervall⁷ bestimmten Atem- bzw. Herzschlagfrequenzen für die *zeitgesteuerte Instantiierung* von Zeitscheiben, bei der eine neue Zeitscheibe in regelmäßigen Abständen⁸ an das DBN angehängt wird.

⁷Das Zeitintervall zur Bestimmung der Atem- bzw. Herzschlagfrequenz muß an die festgelegten Zeitpunkte für die zeitgesteuerte Instantiierung angepaßt sein.

⁸Die Ressourcenbeschränkung mobiler Geräte (Rechen- und Speicherkapazität) beschränkt die Anzahl der Zeitscheiben, die in einem bestimmten Zeitraum an das DBN angehängt werden können. Deshalb

Um die Komplexität der Auswertung des DBN nicht unnötig ansteigen zu lassen, können verschiedene Schemata von Zeitscheiben zur ereignisgesteuerten Instantiierung eingeführt werden. Evidenzen aus Bio- und Umgebungssensordaten treten meistens ohne Evidenzen aus der Sprach- und Eingabeanalyse auf, so daß in einem solchen Fall die neu zu instantiierende Zeitscheibe keine Netzstruktur zur Behandlung der Sprach- und Handlungsmerkmale enthalten muß. Weitere Kombinationen von Daten erscheinen sinnvoll, wie z.B. Herztätigkeit kombiniert mit Atmung oder Bio- und Umgebungssensordaten kombiniert mit Daten aus der Sprachanalyse, so daß sich eine Vielzahl möglicher Schemata von Zeitscheiben ergeben.

Mittels einer Sensitivitätsanalyse der Schemata lassen sich zusätzlich die Paarungen von Hypothesen der verschiedenen Knoten bestimmen, die einen nennenswerten Einfluß auf die Einschätzung der Benutzerressourcenlage haben, so daß nur bei interessanten Hypothesenpaarungen eine ereignisgesteuerte Instantiierung einer Zeitscheibe erfolgt.

Durch das Anhängen neuer Zeitscheiben wächst das Netz, und für die Evaluation des Netzes werden die Laufzeiten immer länger und der Arbeitsspeicherbedarf immer umfangreicher. Daher muß von Zeit zu Zeit ein Rollup von alten Zeitscheiben durchgeführt werden (siehe [1]).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine Methode zur ganzheitlichen Betrachtung von Bio- und Umgebungssensordaten und sprachlichen und motorischen Symptomen vorgestellt mit dem Ziel, Zeitdruck und Arbeitsgedächtnisbelastung eines Benutzers einzuschätzen. Eine genauere Bestimmung der qualitativen Abhängigkeiten sowie die Bestimmung der quantitativen Abhängigkeiten wird durch eine umfassendere Literaturrecherche und etwaige Experimente erfolgen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 378 "Ressourcenadaptive kognitive Prozesse"⁹, Projekt B2 (READY)¹⁰ gefördert.

Literatur

- [1] Boris Brandherm. Rollup-Verfahren für komplexe dynamische Bayessche Netze. Master's thesis, Department of Computer Science, University of Saarbrücken, Germany, 2000.
- [2] J. Healey and R. Picard. Smartcar: Detecting driver stress. In *Proceedings of ICPR'00*, 2000.

sind die Zeitabstände nicht nur von den Eigenschaften der physischen Symptome sondern auch von der vorhandenen Rechen- und Speicherkapazität abhängig.

⁹<http://www.coli.uni-sb.de/sfb378/>

¹⁰<http://w5.cs.uni-sb.de/~ready>

- [3] Jennifer A. Healey. *Wearable and Automotive Systems for Affect Recognition from Physiology*. PhD thesis, MIT, Cambridge, MA, 2000.
- [4] Rosalind W. Picard. *Affective Computing*. MIT Press, Cambridge, MA, 1997.
- [5] Dennis W. Rowe, John Sibert, and Don Irwin. Heart rate variability: Indicator of user state as an aid to human-computer interaction. In Clare-Marie Karat, Arnold Lund, Joëlle Coutaz, and John Karat, editors, *Human Factors in Computing Systems: CHI '98 Conference Proceedings*, pages 480–487. ACM, New York, 1998.
- [6] Nitin Sawhney and Chris Schmandt. Nomadic radio: Speech and audio interaction for contextual messaging in nomadic environments. In Marian G. Williams, Mark W. Altom, Kate Ehrlich, and William Newman, editors, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, pages 353–383. 2000.
- [7] Rainer Schandry. *Lehrbuch Psychophysiologie – Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1998.
- [8] Bernt Schiele, Thad Starner, Brad Rhodes, Brian Clarkson, and Alex Pentland. Situation aware computing with wearable computers. In W. Barfield and T. Caudell, editors, *Augmented Reality and Wearable Computers*. Erlbaum, Mahwah, NJ, 2000.