

Zur unscharf-metrisch-temporallogischen Spezifikation von Verkehrssituationen bei der Autobahnfahrt

Hans-Hellmut Nagel und Michael Arens

Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme (IAKS)
Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe
{nagel|arens}@iaks.uni-karlsruhe.de

Zusammenfassung—Eine unscharfe metrisch-temporallogische Erweiterung der Prädikatenlogik wird zur Spezifikation des Verhaltens von Personenwagen auf Autobahnen verwendet. Eine graphische Benutzungsoberfläche zur Eingabe, Modifikation und Ergänzung einer solchen Spezifikation erlaubt es, die resultierende Spezifikation in Form eines Situationsgraphenbaums automatisch in eine Darstellung zu transformieren, die einerseits zur Interpretation von aufgezeichneten Videosequenzen, andererseits zur Erzeugung synthetischer Videosequenzen herangezogen werden kann. Diese zweite Alternative dient dazu, das in Form eines Situationsgraphenbaums repräsentierte Wissen über das Verhalten von Personenwagen als Film zu visualisieren, um dieses Wissen einfacher inspizieren zu können. Die dazu erforderlichen Zwischenschritte bieten zahlreiche Anregungen für den Einsatz von Inferenzmaschinen im Hinblick auf eine automatische Überprüfung von Konsistenz und Vollständigkeit der systeminternen Wissensbasis.

Schlüsselwörter—(Verkehrs-)Situation, Situations-Graphen-Baum, Verhaltens-Repräsentation, Logik, Video-Auswertung, Video-Synthese

Die Führung eines Kraftfahrzeuges im Straßenverkehr erfordert es, die jeweils aktuelle Verkehrssituation richtig zu erfassen und angemessen darauf zu reagieren. Was dies im Einzelfall bedeutet, lernt ein Mensch in der Fahrschule, nach Bestehen der Fahrprüfung während erster eigener Fahrten und im weiteren Verlauf seines Lebens durch zunehmende Fahrerfahrung. Diese trivial erscheinende Feststellung kann jedoch zu unerwarteten Fragen führen, wenn man über neuere technische Entwicklungen nachzudenken beginnt.

Unbestreitbar hat der Straßenverkehr heute eine Komplexität erreicht, bei der es für viele wünschenswert wird, im Zweifelsfall auf Unterstützung zurückgreifen zu können, beispielsweise durch ein modernes Fahrerassistenzsystem (FAS). Woher aber soll ein solches FAS 'wissen', wie es 'die jeweils aktuelle Verkehrssituation richtig zu erfassen' hat und 'was als jeweils angemessene Reaktion in Frage kommt'? Angesichts der technischen Entwicklungen bei der Konstruktion und Produktion von hochintegrierten Schaltungen könnte man auf die Idee kommen, die Leistungsfähigkeit 'künstlich intelligenter' Systeme habe die Lernfähigkeit von Heranwachsenden erreicht oder werde diese in Kürze erreichen. Dann müsste es genügen, zumindest die Entwicklungsversion eines FASs einem ähnlichen Lernprozess auszusetzen wie bei einem Fahrschüler, um das angesprochene Problem zu lösen.

Eine solche Überlegung wird vermutlich auch vielen Laien als etwas zu futuristisch erscheinen, um es einmal vorsichtig auszudrücken. Die Vorstellung, zunächst ein – zumindest für den Straßenverkehr spezialisiertes – lernfähiges technisches System zu konstruieren, das anschließend seine Erfahrungen unter Betreuung durch versierte 'Fahrlehrer für FASe' selber sammelt, stellt aber nur eine von mehreren gedanklichen Möglichkeiten dar. Eine Alternative dazu könnte darin bestehen, zunächst die Fahrerfahrung von Spezialisten explizit in Regeln zu formulieren, um auf dieser Grundlage dann ein technisches System zu konstruieren, das die formulierten Regeln so präzise wie möglich befolgt. Auch eine solche Vorgehensweise wird derzeit nicht von jedem für praktikabel gehalten. Die Lösung wird vermutlich darin bestehen, verschiedene Varianten beider – nur grob angedeuteter – Vorgehensweisen genauer zu untersuchen, um deren Vor- und Nachteile besser zu verstehen.

Vor dem Hintergrund einer solchen Überlegung soll im Folgenden eine Variante der zweiten Vorgehensweise für einen zunächst eingeschränkten Diskursbereich, nämlich die Autobahnfahrt, detaillierter verfolgt werden. Ausgegangen wird dabei von der Arbeitshypothese, dass es zumindest bei der normalerweise 'gut strukturierten' Autobahnfahrt noch am ehesten möglich erscheint, einen *erschöpfenden Katalog von Verkehrssituationen* zusammenzustellen. Jede der dabei berücksichtigten Verkehrssituationen muss so präzise spezifiziert werden, dass sie zuverlässig erkannt werden kann sogar dann, wenn als Signalgeber zur Erfassung des Umgebungszustandes sowie seiner zeitlichen Entwicklung nur auf Videoaufnahmen sowie deren algorithmisch durchgeführte Auswertung (Maschinensehen) zurückgegriffen werden darf. Da eine sichtsystemgestützte Spurhaltung oder eine sichtsystemgestützte automatische Fahrt im Schrittempo, beispielsweise zur Entlastung des Fahrers im Stau, bereits zur Markteinführung vorbereitet werden, kann man die zu Grunde gelegte Arbeitshypothese nicht von vorneherein als unrealistisch verwerfen.

Die vorgeschlagene Vorgehensweise lässt sich noch schärfer konturieren, wenn Begriffe verwendet werden, die bereits in einer früheren Publikation eingehender behandelt worden sind ([Nagel & Arens 2003]), nämlich die Begriffe 'Agens', 'Situation' und 'Fahrmanöver'. Unter einem Agens werde ein sichtbarer Körper verstanden, dessen Bewegung in der

abgebildeten Szene nicht unmittelbar aus den sichtbar auf ihn einwirkenden Kräften erklärt werden kann. Charakteristisch für ein Agens ist demnach, dass es seine Bewegung auf Grund *agens-interner* Prozesse zu beeinflussen vermag, die nicht ausschließlich durch den jeweils vorliegenden Bewegungszustand sowie durch sichtbare Kräfte bedingt erscheinen. Diese Formulierung impliziert, dass ein Agens über 'interne Freiheitsgrade verfügt', die eine Auswahl unter verschiedenen, prinzipiell zugänglichen Bewegungsoptionen ermöglichen. Der Begriff *Agens* dient im Folgenden dazu, von Kraftfahrern zu abstrahieren und ein Kraftfahrzeug als Agens zu behandeln.

Die Menge aller einem Agens im Diskursbereich 'Autobahnfahrt' zur Verfügung stehenden Bewegungen werde auf eine Teilmenge *zugelassener Fahrmanöver* eingeschränkt. Es wird davon ausgegangen, dass zu jedem zugelassenen Fahrmanöver ein regelungstechnischer Prozess existiert, der die *sichtsystemgestützte Durchführung* des betreffenden Fahrmanövers realisiert.

Eine *generisch beschreibbare Situation* werde systemintern repräsentiert durch ein Tripel aus einem Situationsbezeichner, einer Zustandsbeschreibung sowie einem (zugelassenen) Fahrmanöver. Die Zustandsbeschreibung werde durch die Konjunktion einer Menge von Prädikaten einer 'Unschärfe Metrisch-Temporalen Logik (UMTL)' festgelegt (vgl. [Schäfer 96]). Mit Hilfe dieser Prädikate werde derjenige Zustand des Agens sowie seiner Umgebung charakterisiert, in dem das Agens eine bestimmte Aktion – im Fall des Diskursbereiches Autobahnfahrt also ein zugelassenes Fahrmanöver – ausführt. Generisch beschreibbare Situationen lassen sich als Knoten in einen Graphen einbetten, dessen Kanten Nachfolgebeziehungen zwischen zwei Situationen entsprechen. Ein Pfad durch einen solchen '*Situationsgraphen (SG)*' lässt sich dann als eine bestimmte Folge von Aktionen oder als '*Verhalten*' des Agens interpretieren.

Um auch komplexe Situationsgraphen angemessen strukturieren zu können, lassen sich Situationsgraphen mit Hilfe von '*Detaillierungskanten*' zu '*Situations-Graphen-Bäumen (SGB)*' hierarchisch gliedern. Als Detaillierungskanten treten einerseits die *Spezialisierung* durch Hinzunahme eines weiteren Prädikates oder andererseits die *zeitliche Dekomposition* auf. Letztere substituiert für eine generisch beschreibbare Situation einen detaillierenden Situationsgraphen, der eine ganze (Teil-) Folge von Situationsknoten – d. h. ein Teilverhalten – umfasst. Einzelheiten zu den hier nur angedeuteten Begriffsbildungen finden sich in [Nagel & Arens 2003].

In der zitierten Arbeit wird u. a. ein (unvollständiger) Situationsgraphenbaum $SGB_{\text{Autobahnfahrt}}$ wiedergegeben, der zugelassene Folgen von Fahrmanövern während einer Autobahnfahrt repräsentiert. Dabei sind die Zustandsbeschreibungen der einzelnen Situationsknoten noch nicht spezifiziert. Im Sinne des eingangs umrissenen Gedankens sollen nunmehr die Zustandsschemata der Situationsknoten in ausgewählten Teilgraphen des $SGB_{\text{Autobahnfahrt}}$ spezifiziert werden.

Damit werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits ergeben sich so Hinweise auf die erforderlichen Prädikate. Dies erlaubt es abzuschätzen, auf welchem Wege sich die zu berücksichtigenden Prädikate mit Hilfe von Videoauswertungen bestimmen lassen. Auf der anderen Seite sollten der resultierende Teil-

baum bzw. die resultierenden Teilbäume bereits den unmittelbaren Anschluss an Auswertungsergebnisse aus Videoaufnahmen ermöglichen, die mit Hilfe von Videokamera(s) während einer Autobahnfahrt aufgezeichnet worden sind. Damit wird sich dann genauer abzeichnen, ob der eingeschlagene Weg als – zumindest prinzipiell – gangbar erscheint.

Bereits zur Verfügung stehende Programmwerkzeuge (vgl. [Arens 2003]) sowie vorliegende Erfahrungen (vgl. [Gerber 2000]) rechtfertigen die Erwartung, ausgehend von einer solchen SGB-Repräsentation für Autobahnfahrten Bildfolgen 'vollautomatisch' in Texte umzusetzen, die eine mit Hilfe einer Videokamera aus einem fahrenden Kraftfahrzeug aufgezeichnete Autobahnfahrt beschreiben. Von besonderem Interesse kann es sein, die aktuellen Präferenzen des auswertenden Ingenieurs im Hinblick auf bestimmte Verkehrssituationen anzugeben und den automatisch zu erzeugenden Text auf diese Aspekte zu konzentrieren. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, auch bei längeren Fahrten nur die gerade besonders interessierenden Teile algorithmisch auszuwählen und genauer zu untersuchen.

Der derzeitige Entwicklungsstand einer graphischen Benutzungsoberfläche zur Erstellung und Nutzung von Situationsgraphenbäumen ([Arens 2003]) wird angedeutet und verwendet, die schrittweise Ergänzung eines partiell spezifizierten Situationsgraphenbaumes für die Autobahnfahrt zu illustrieren. Die automatische Erzeugung synthetischer Videosequenzen zur Visualisierung interaktiv auswählbarer Situationsfolgen wird daraufhin untersucht, ob, wie und inwieweit sich auf diesem Wege eine signifikante Steigerung bei der Erstellung und Überprüfung von Verhaltens-Spezifikationen im Diskursbereich Autobahnverkehr erzielen lässt.

LITERATUR

- [Arens 2003] M. Arens: *SGTEditor v1.0 Reference Manual v1.1*. Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), April 2003. <http://cogvisys.iaks.uni-karlsruhe.de/Vid-Text/sgt.editor/SGTEditorManual.v1.1.pdf>
- [Gerber 2000] R. Gerber: *Natürlichsprachliche Beschreibung von Straßenverkehrsszenen durch Bildfolgenauswertung*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Januar 2000. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=2000/informatik/8>
- [Nagel & Arens 2003] H.-H. Nagel und M. Arens '*Innervation des Automobils*' und *Formale Logik*. In Ch. Stiller und M. Maurer (Hrsgb.), Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 2003 (im Druck)
- [Schäfer 96] K.H. Schäfer: *Unschärfe zeitlogische Modellierung von Situationen und Handlungen in Bildfolgenauswertung und Robotik*. Dissertation, Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH), Juli 1996. Erschienen in der Reihe 'Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz (DISKI)', Band 135, Sankt Augustin: infix 1996.