Aris Christidis

Leistungsstand und Entwicklungstendenzen der Fahrsimulation

1 Einleitung

Die Kybernetik hat die Grenzen zwischen Geistes- und Naturwissenschaften nicht nur auf theoretischer Ebene überwunden. Am Beispiel des Trainings an Flug- und Fahrsimulatoren wird in eindrucksvoller Weise deutlich, wie humanwissenschaftliche Erkenntnisse in technische Errungenschaften integriert werden können; denn hier wurde die bewährte pädagogische Methode, eine zu erlernende Tätigkeit erst in sicherer Umgebung gefahrlos einzustudieren, um sie dann stufenweise unter realistischen Bedingungen auszuüben ("Trockenschwimmen") und die wohlbekannte mathematische Vorgehensweise, unübersichtliche, transzendente, multidimensionale Zusammenhänge zu parametrisieren, um dann unter Einfrierung jeweils anderer Variablen einzelne, leichter handhabbare Aspekte einer Aufgabe zu untersuchen, erfolgreich zusammengeführt.

Die Richtigkeit dieser Überlegung in Bezug auf die Flugsimulation wurde durch die Praxis der letzten drei Jahrzehnte bestätigt. Die Notwendigkeit der Übertragung solcher Maßnahmen auf den Straßenverkehr kann vorerst nur durch die Unfallstatistiken belegt werden. So wurden beispielsweise 1993 trotz leichten Rückgangs immer noch 2,3 Mio. Unfälle im bundesdeutschen Straßenverkehr registriert, die fast 10.000 Tote, 126.000 Schwerverletzte und 380.000 Leichtverletzte forderten und einen Gesamtschaden in Höhe von 42,6 Mrd. DM verursachten [1].

2 Stand der Technik

Das technische Niveau der Fahrsimulation entspricht jenem der Flugsimulation, welcher sie entstammt: Es kommen zumeist dieselben Systeme (z.B. bei der Sichtsimulation) oder mindestens dieselben Prinzipien (z.B. bei der Bewegungssimulation) zur Anwendung.

Durch eine intensive, weltweite Erforschung der naturwissenschaftlichen Gebiete, auf die sich die Fahrsimulation stützt, können heute Bewegungen und (auch als Spezialfall davon) Geräusche dargeboten werden, die originalgetreu und mit Verzögerungen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle jede mechanische Wirkung des Verkehrs, von Kollisionserschütterungen und -geräuschen, über das Rumpeln des eigenen Motors bis hin zum Doppler-Effekt des (ebenfalls simulierten) vorbeifahrenden Fremdverkehrs wiedergeben. Viele der dazu benötigten Daten, etwa Geräuschmessungen oder die Fahrdynamik (d.h. die mathematische Darstellung des Fahrzeugverhaltens unter wechselnden Fahr- und Belastungssituationen), werden ohnehin von den jeweiligen Autoherstellern zum Zweck der Weiterentwicklung der eigenen Modelle ermittelt.

In der Sichtsimulation haben sich gegenüber den kameragestützten Systemen mit Miniaturlandschaften [2] bereits seit fast zwei Jahrzehnten die digitalen Sichtsysteme, wie sie auch bei der Flugsimulation verwendet werden, klar durchgesetzt; die in den letzten zehn Jahren erfolgten Entwicklungen auf dem Gebiet der Computer-Grafik und vor allem die im selben Zeitraum verzeichneten Fortschritte in der Computertechnik gaben dafür den Ausschlag. Bei Bildwiederholungsraten von 30 bis 60 Hz und einer Verarbeitungsgschwindigkeit von bis zu 1000 Dreiecken pro Bild [3] läßt sich eine täuschende Realitätsnähe erreichen.

3 Einsatzmöglichkeiten

Das Simulations-Training, geschaffen als eine kostengünstige, zeitsparende und risikolose Behandlung der Frage: "Was tun, wenn...?", hat inzwischen, nicht nur anhand der Flugsimulation, auch weitere, vergleichbar wichtige Vorteile bewiesen. Dazu gehören nicht zuletzt die Möglichkeit, eine oder mehrere Personen unter exakt reproduzierbaren Bedingungen üben zu lassen oder auch ein Situations-Replay aus jeder erdenklichen Perspektive, auch der eines potentiellen Unfallgegners, zu erzeugen.

Besonders wertvoll ist die freie Wahl in der Anwendung konkreter Trainings-Szenarios, so etwa auf den folgenden Gebieten [4]:

Interaktion mit der Technik im Fahrzeug:

- Wechsel vom Fahrzeugtyp (Fahrverhalten, Ausstattung) ohne Umsteigen,
- Änderung von Beladungszuständen ohne Aufwand oder Wartezeiten;

Interaktion mit der Umgebung:

- Wechsel von Straßen- und Pflastertyp, ohne eine bestimmte Umgebung aufsuchen zu müssen,
- Änderung von Witterung, Lichtverhältnissen und Tageszeiten (Nebel, Eis, Verdunklung) innerhalb von Millisekunden;

Interaktion mit Verkehr:

- Ständiges BAB-Einfädeln (Baustellen und Umleitungen führen ständig aus der BAB heraus und zurück),
- Ausgebremst-Werden (bergauf hinter LKW ohne Überholmöglichkeit, weil auf der Überholspur schnellere PKWs fahren),
- Überholsituationen im Stau (Rechtsüberholer, Linksfahrer),
- Verhalten in Notsituationen (Korridor für Notarzt, Reißverschlußverfahren, Vorbeifahren an Unfallstelle),

- Provokation von Beinahe-Unfällen durch Dritte,
- Unfallverhalten (Bremsenversagen, Reifenplatzer),
- Begegnung mit Geisterfahrern,
- Linksverkehr.

Typische Ziele eines simulatorgestützten Trainings sind [5]:

- das Einüben einer vorausschauenden, defensiven, umweltschonenden Fahrweise,
- die Verbesserung persönlicher Such- und Blickstrategien in kritischen Verkehrssituationen zur rechtzeitigen Gefahrenerkennung,
- die Entwicklung von Klassifizierungs-Strategien zur Reduktion der Informationsbelastung,
- das Setzen von Prioritäten in komplexen Verkehrssituationen und das Abwägen alternativer Risikolagen.

Simulationstrainings sind nicht nur für sicherheitsbewußte oder experimentierwillige Privatfahrer interessant: Für Beschäftigte, die ihren Dienst in Kranken- und Feuerwehrwagen oder Einsatzfahrzeugen der Polizei tun, können Simulationsfahrten unersetzbar sein; man denke etwa an die Situationsvielfalt, die entstehen kann, wenn Streifenwagen versuchen, durch einen unfallbedingten Stau an die Unfallstelle zu gelangen.

Fahrsimulatoren sind natürlich nicht nur zur Aus- und Weiterbildung von Fahrern geeignet; ebenso gut läßt sich dieselbe Technik zur Ermittlung menschlicher Leistungsfaktoren einsetzen, und zwar zur Überprüfung sowohl persönlicher als auch statistischer Zusammenhänge [6].

Auf individueller Basis lassen sich verständlicherweise überprüfen:

- Wahrnehmungs- und Reaktionsgeschwindigkeit,
- Geschick und Leistungsfähigkeit,
- Ermüdungs- und Regenerierungsprozesse,
- Auswirkungen von Alter, physischen oder psychischen Kon-

stellationen und Krankheiten,
- Bewertung von Rehabilitationsmaßnahmen oder Prothesen,
- der Einfluß von Genußmitteln, Drogen und Medikamenten,
- die Beeinträchtigung durch Operationen oder Amputationen,
- die Feststellung vorhandener Invalidität und Behinderungen.

Dieselben Aspekte lassen sich natürlich auch auf interindividueller (statistischer) Ebene auswerten; hier treten jedoch auch weitere mögliche Aspekte hinzu, so etwa Untersuchungen über:
- Zweckmäßigkeit und Handlichkeit von Bedien- und Anzeigeinstrumenten in Fahrzeugen,
- menschliche Interaktion mit technischen Innovationen (z.B. ABS),
- Wahrnehmbarkeit von Beschilderungen, Signalgebung und Straßenmarkierungen,
- Monotonie von Straßenverläufen, Bepflanzung und Bebauung,
- Rekonstruktion aber auch Antizipation von Unfällen und unfallträchtigen Stellen.

4 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Vorzüge und Mängel der Fahrsimulation heute sind zum größten Teil historisch gewachsen und hängen mit ihrer Entwicklung aus der militärischen Flugsimulation zusammen. Sie tragen somit die Züge eines (zumindest bis vor wenigen Jahren) scheinbar unbegrenzt expansionsfähigen Marktes, in welchem die Nutzer nur einem streng ausgesuchten Personenkreis mit überdurchschnittlicher Konstitution und Fachkenntnis entstammten und mit den Käufern nicht identisch waren.

Um die vorteilhaften ebenso wie die problematischen Konsequenzen dieser Abstammung bewerten zu können, sollte man sich zunächst vergegenwärtigen, daß im Vergleich zum Luftverkehr der Straßenverkehr

- zwar niedrigere Bahngeschwindigkeiten, aber - aufgrund der Nähe zur gegenständlichen Umgebung - wesentlich höhere Winkelgeschwindigkeiten aufweist, d.h., daß die Simulation des Straßenverkehrs schließlich eine wesentlich höhere Auflösung und Rechenleistung benötigt, um dieselbe Bildkomplexität und -qualität hervorzubringen,
- über Verkehrsmittel verfügt, deren Bedienung erheblich einfacher ist,
- von Interaktions-Regeln beherrscht wird, die einfacher und weniger festgelegt sind, aber damit auch Interaktionsmuster hervorbringen, die wegen der üblichen Verkehrsdichte viel komplexer und weit weniger vorhersagbar ("logisch") sind, die aber (gegenüber dem Luftkampf) immer innerhalb eines gewissen Rahmens (und daher potentiell simulierbar) bleiben,
- sich an Adressaten wendet, die von der physischen Kondition, der psychischen Konstitution und der fachlichen Ausbildung her dem gesamtgesellschaftlichen Spektrum entsprechen und in keiner Weise erlesen sind.

Auf der Grundlage dieser Gegenüberstellung wird verständlich, daß heute

- marktbeherrschende Sicht- und Bewegungssysteme in Preis- und Qualitätsklassen liegen, die in einem wesentlich ungünstigeren Verhältnis zu den einzusparenden Fahrtkosten stehen als die entsprechenden Einrichtungen in den Anfängen der Flugsimulation,
- Interaktion in Form elaborierter Simulatoren-Netze erforscht und angeboten wird,

während gleichzeitig

- keine Beispiele für Kooperationen von Signalanlagen- und Simulatoren-Herstellern bzw. von der Übertragung vorhandener Algorithmen zur Ampelsteuerung auf Fahrsimulatoren bekannt sind,
- Paradigmen für eine Simulation des Gegenverkehrs weltweit erst seit wenigen Jahren in ihrer Entstehung begriffen sind.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, daß neben der für die Flugsimulation ohnehin stattfindenden, technisch orientierten Entwicklungsarbeit, auch signifikanter humanwissenschaftlicher Forschungsbedarf besteht. Als Beispiele für interessante Schwerpunkte wären u.a. zu nennen die Erforschung von

- situativen, persönlichkeitsbedingten u.a. Determinanten menschlichen Fahrverhaltens, insbesondere in Extremsituationen (z.B. Fahren im Stau, bei hoher Verkehrsdichte, als Geisterfahrer) zum Zwecke der Simulation von Fremdverkehr [7],
- Entstehung der Simulatorkrankheit und Vermeidung derselben wie auch der Entwicklung von Gegen- und Ausweichstrategien (die schließlich dazu führen, daß statt Autofahren "Simulatorfahren" geübt wird), unter Gegenüberstellung bzw. Adoption entsprechender Forschungsergebnisse aus dem Flugbereich [8].

Aus den hierbei zu zeitigenden Ergebnissen wären dann mittel- und langfristig zu entwickeln:

- konkrete Vorstellungen über den wirklich benötigten Umfang und Detaillierungsgrad [9] ("Was / wie genau muß simuliert werden?") im Sinne des erhofften Lernerfolgs,
- genauere Eingrenzung von Begriffen, die im Alltagsgebrauch eine Rolle spielen, ohne scharf definiert zu sein (Beinahe-Unfälle, aggressive Fahrweise etc.) und schließlich
- Lehrprogramme, die vor allem mit dem Bewußtsein ihrer Möglichkeiten und Grenzen angewandt werden und (auch im Hinblick auf das Mentale Training) genügende Variabilität und Flexibilität bieten, so daß nicht eine ergreifende oder gar erdrückende Realitätstreue aus der Lehrstunde ein Abenteuer macht.

5 Entwicklungstendenzen

Im Mittelpunkt der aktuell weltweit laufenden Entwicklungsarbeiten steht zunächst die Anpassung an den Stand der Technik; dieser wird von den wissenschaftlichen und technischen Teilgebieten geprägt, die in der Fahrsimulation zur Anwendung kommen.

Speziell für der Bereich der Sicht-Simulation handelt es sich hierbei um die Fortentwicklungen der Computer-Grafik mit echtzeitfähigen Verfahren zur Darstellung von Effekten wie Glanz, Schattenwürfen und -verläufen, Oberflächen mit räumlicher "Unruhe" (verbeult), fuzzy Objekten (Rauch, Abgase, Staub-Wolken) und nicht zuletzt Stereoskopie und (Fußgänger-) Animation, zwei Verfahren, die mit dem verstärkten Aufkommen der Virtuellen Realität immer mehr Popularität genießen [10].

Von der allgemeinen Verkehrsforschung und -simulation ist in den nächsten Jahren verstärkt mit der Übernahme vorhandener Methoden zur Verkehrsflußabschätzung und -steuerung in die Fahrsimulation zu rechnen. Dazu gehören z.B. numerische Verfahren zur Verarbeitung von Daten, die bei Verkehrsstaus anfallen (zur Ampelschaltung, Geschwindigkeitsregulierung, Aktivierung elektronischer Warntafeln etc.) aber auch Erfahrungswerte über das Interaktionsverhalten des Mit- und Gegenverkehrs. Neben der Forderung nach Echtzeitfähigkeit der Verarbeitungsmethoden werden hier aber die naturbedingt limitierten Möglichkeiten der Wissensakquisition und Prädiktion menschlichen Verhaltens bzw. Versagens kaum zu überwindende Grenzen setzen; denn das hierzu benötigte Wissen ist nicht nur größtenteils unerforscht, sondern auch nur bedingt erforschbar - man denke etwa an die Schwierigkeiten der Konzeption und Verifikation einer Theorie über die Teilchen- und die Wellennatur des Verkehrs.

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt besteht in der Einbeziehung innovativer Techniken, insbesondere Neuronaler Netze und Fuzzy-Systeme; erstere ermöglichen den Aufbau lernfähiger Systeme, hier etwa lernfähiger Trainer, die selbsttätig im Fluß des Mit- und Gegenverkehrs Situationen (Stau, Überholmanöver) erzeugen, die dem Ausbildungsstand und dem Fahrverhalten der jeweiligen Lernperson entsprechen. Die generierten Situationen können dabei "natürlicher" (vertrauter) wirken, wenn mit Hilfe von Methoden der Fuzzy-Logik nichteindeutige, z.B. Hysterese-ähnliche, Verhaltensweisen implementiert werden, wie etwa die Gestaltung von Verkehrsaufkommen und Fahrverhalten der simulierten Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Uhrzeit (Nähe zu Stoßzeiten) und der Vorgeschichte (Staubildungen). Aber auch die Belastungssteuerung des Simulators selbst enthält zunehmend fuzzy Elemente - z.B. bei der Entscheidung über die Zulassung von Gegenverkehr je nach Komplexität der Szene.

Ein Sachverhalt, der nicht übersehen werden darf, ist, daß die hier erwähnten Entwicklungsarbeiten vor dem Hintergrund weltweit gekürzter Budjets laufen und unter Rahmenbedingungen, wie sie die neueren Umwälzungen auf dem Simulationsmarkt diktieren. Ein prägendes Moment dieser Entwicklung war in den letzten Jahren neben der Schrumpfung auch die Konzentrationsaktivität; so wurde z.B. General Electric von Martin Marietta übernommen, während zum einen BBN und IBM Federal Systems von Loral, zum anderen Rediffusion und Link-Miles von Thomson aufgekauft wurden [11], [12].

Geht man von einer Fortsetzung der gegenwärtigen Entwicklung aus und nimmt man an, daß Markt allein keine Infrastruktur schafft, so ist zu erwarten, daß eine Intensivierung der bislang eher zaghaft laufenden interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren einerseits und Psychologen, Pädagogen, Medizinern u.a. Humanwissenschaftlern andererseits nicht so bald einsetzen wird. Eine solche Kooperation wäre hauptsächlich für eine wahrnehmungsorientierte Konzeption der Lehrinhalte, des Umfangs und des Detaillierungsgrads von Interesse; nach der bisherigen

Tendenz ist weiterhin mit einem Übergewicht der technischen Aspekte zu rechnen.

6 Resümee

Die Simulation im allgemeinen ist auf dem besten Wege, sich als Übungsmethode zu etablieren und ein heute noch nicht abschätzbares Anwendungsfeld zu erschließen und zu erobern; ihr Vormarsch liegt an den effizienten Versuchs- und Trainingsbedingungen, die sie ermöglicht. Die Fahrsimulation im besonderen ist angetreten und hat gute Chancen, wertvolle Hilfe zur Risikominderung im Verkehr zu leisten. Die wichtigsten konstruktiven Bausteine sind bereits vorhanden und werden weiter verbessert. Forschungsarbeit und interdisziplinäre Kooperation tun not, sind jedoch durch die Überlassung der Branche an die Marktgesetze gefährdet.

Sowohl der Entwurf als auch die Auswertung der an Simulatoren erfolgenden Untersuchungen bieten ein breites Übungsfeld für das Mentale Training der daran beteiligten Fachleute; denn die zu untersuchenden Situationen müssen vor ihrer Modellierung antizipiert ("durchgespielt") werden. Für die Übenden bietet sich zwar diese Gelegenheit nicht; dennoch dürfen die enormen Vorteile, die die Fahrsimulation gegenüber dem realen Fahrtraining auszeichnen, nicht außer acht gelassen werden.

Bereits oben ist von der Simulation als kostengünstiger, zeitsparender und risikoloser Übungsmöglichkeit gesprochen worden - wobei es sich von selbst versteht, daß die Risikovermeidung hier auch die Umweltschonung impliziert. Denkt man jedoch insbesondere an die mentale Vor- und Aufbereitung von Ausbildungsprozessen, so wird deutlich, daß gerade bei der Fahrerausbildung nicht alle relevanten Situationen (z.B. Staubildungen, aggressive, drängelnde Verkehrsteilnehmer, plötzliche Gewitter, Reifenplatzer, Beinahe-Unfälle, Aquaplaning) nach Belieben ver-

mittelbar sind - womit auch ihre mentale Bewältigung unmöglich wird. Demgegenüber besteht im Simulator die Chance, das Aufkommen dieser Vorgänge gezielt zu steuern und einzustudieren: Häufigkeit, Umfang, Komplexität und Intensität lassen sich dem Ausbildungsstand der Übenden anpassen, so daß eine Überforderung ebenso vermieden werden kann wie eine Unterforderung.

Dadurch bietet die Fahrsimulation die Möglichkeit, Situationen erfahrbar zu machen, die einen hohen Stellenwert haben und auf realen Straßen viel zu unvorhersehbar geschehen, um sie gezielt einüben zu wollen und viel zu komplex sind, als daß die bloße Vorstellung zu ihrer Bewältigung ausreichen könnte. Damit kann die Fahrsimulation, neben dem Trainingseffekt, wesentliche Voraussetzungen für das Mentale Training liefern.

7 Literatur

[1] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle Dezember 1993 (Fachserie 8, Reihe 7)

[2] W.Arand, P.Kupke: "Anforderungen an Simulatoren zur Untersuchung des Fahrer-Fahrzeug-Verhaltens sowie der verkehrstechnisch relevanten Eigenschaften von Straßenentwürfen" Bundesminister für Verkehr (Hrsg.) 1982

[3] T.Nash: "Visual Systems - Value Judgements Rule" Military Simulation and Training (MS&T) 2/94

[4] Bundesanstalt für Straßenwesen: Ergebnisprotokoll zum Expertengespräch "Verwendung von Pkw-Fahrsimulatoren in der Fahrschulausbildung" am 23.06.1993 in der Bundesanstalt für Straßenwesen

[5] D.Ungerer: "Informationsmanagement als zentrale Forderung an das Fahrergehirn" Statement des Sensomotorik-Labors, Universität Bremen, 4.11.1993

[6] A. Christidis: "Fotografische Datenbasengenerierung für Simulatoren mit digitalem Außensichtsystem", VDI-Verlag 1991

[7] H.J.Paredes-Frigolett, H.J.Bickenbach: "Using artificial intellligence methods for the development of a traffic simulator" Proceedings of the Fourth International Training and Equipment Conference and Exhibition, ITEC-93, London 1993.

[8] M.Zupanic: "Aspekte der Prädiktion und Prophylaxe der Simulatorkrankheit" Diplomarbeit an den Fachbereichen Psychologie und Sicherheitstechnik der Universität Wuppertal, 5/93

[9] A.Ralston, E.D.Reilly (Eds.): "Encyclopedia of Computer

Science" IEEE Press, 1993
[10] R.Latham: "New Features for Top End Graphics Machines" Real Time Graphics, Vol.2 No.7, Feb.1994
[11] "1994 Image Generator Survey Addendum" IMAGE Society Inc.
[12] R.Latham: "Turbulent Times for the Real Time Simulation Business" Real Time Graphics, Vol.2 No.8, Mar.1994