

Modellgestützte Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen am Beispiel des Anästhesie-Informationssystems AIS

Bernhard Thull, Thomas Shecke, Günter Rau, Aachen

Zusammenfassung

In einer retrospektiven Studie wird an einem Anästhesie-Informationssystem, dem AIS, untersucht, inwieweit im Prozeß des Rapid Prototyping eine Voroptimierung von Benutzerschnittstellen mit Hilfe einer modellgestützten Bewertung möglich ist. Anhand zweier Versuche, in denen Designentscheidungen aus dem Gestaltungsablauf bzw. Aspekte im Benutzerverhalten nachvollzogen werden, kann die Zweckmäßigkeit des Vorgehens begründet und diskutiert werden.

Einführung

In einem Rapid Prototyping-Verfahren wurde in den letzten Jahren am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik in Zusammenarbeit mit der Klinik für Anästhesiologie ein Anästhesie-Informationssystem (AIS) für den kardio-chirurgischen Bereich entwickelt (/Klocke et al., 1986, 1987/). Das AIS unterstützt den Anästhesisten bei der Überwachung des Patientenzustandes und der Protokollierung des Anästhesieverlaufs, indem es die Patientenmeßwerte, Operationseignisse und Therapie-Maßnahmen übersichtlich darstellt. Die sehr einfache Bedienung baut auf den Prinzipien "Direkte Manipulation" und "Berühreingabe" auf.

Der Entwicklungsprozeß des AIS zeigte neben den unbestreitbaren Vorteilen des Rapid Prototyping, wie z.B. frühzeitige Integration der Benutzer, auch einige Schwächen dieses Vorgehens auf. So wurde der Gestaltungsablauf sehr aufwendig, da die Umsetzung der oben genannten Interaktionsprinzipien in einem komplexen Informationssystem viele Überarbeitungen verlangt, den Ärzten jedoch nur wenig Zeit für die Bewertung der Entwürfe zur

Verfügung steht.

Eine Möglichkeit, die Anzahl der Überarbeitungen zu verringern, bietet eine Voroptimierung der Benutzerschnittstelle mit Hilfe einer modellgestützten Bewertung. Dazu wird zunächst die prototypische Schnittstelle in einer Interaktionssimulation mit Benutzermodellen getestet. Aufgrund der Ergebnisse werden dann erste Korrekturen vorgenommen, bevor der Entwurf mit den zukünftigen Benutzern diskutiert und bewertet wird (/Kaster, Knäuper, 1987/).

Die Bewertung der prototypischen Benutzerschnittstelle muß im Kontext des Mensch-Maschine-Systems, in dem sie zum Einsatz kommen soll, erfolgen (/Rau, Trispel, 1982/). Daher muß gewährleistet sein, daß die zum Test im Interaktionssimulator verwendeten Aufgabensequenzen typische Arbeitsabläufe, wie z.B. Auswahl von Bildschirmseiten oder Eingabe von Dosierungen, im betrachteten Mensch-Maschine-System widerspiegeln. Nur so können die im Simulator gewonnenen Aussagen mit den tatsächlichen Gegebenheiten des Systems in Beziehung gebracht werden und als Grundlage einer modellgestützten Bewertung dienen.

Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit einer Voroptimierung der prototypischen Benutzerschnittstelle aufgrund modellgestützter Bewertung und des damit verbundenen Aufwandes wurde am AIS exemplarisch eine retrospektive Studie durchgeführt. Die Fragestellung war, ob es gelingt, sowohl Designentscheidungen aus dem Gestaltungsablauf als auch Aspekte des Benutzerverhaltens nachzuvollziehen. Das AIS ist für eine solche Studie geeignet, da es sich im Feldtest befindet und eine Fülle empirischer Daten vorliegt. Es liefert somit wertvolle Informationen, die zur Einschätzung der in der Studie gewonnenen Aussagen herangezogen werden können.

Das Anästhesie-Informationssystem AIS

Im folgenden wird nur der für die Studie relevante Ausschnitt des AIS beschrieben (für eine ausführlichere Beschreibung siehe /Klocke et al. 1986, 1987/).

Die Interaktion zwischen Anästhesist und AIS erfolgt ausschließlich über einen berührungsempfindlichen Farbmonitor. Bild 1 zeigt schematisch die Auslegung einer Arbeitsseite auf dem Monitor.

Die Vitalparameter des Patienten, wie Blutdruck, Puls oder Temperatur, werden in einem Fenster grafisch angezeigt. Eingaben des Anästhesisten zur Protokollierung von Medikamentengaben oder Ereignissen werden über grafisch dargestellte "virtuelle" Bedienelemente wie Tasten oder Analogschieber auf dem Bildschirm ermöglicht. Die Bedienschritte 1 bis 4 auf Bild 1 geben den Interaktionszyklus zur Protokollierung der Gabe von 0,2 mg Fentanyl zum Zeitpunkt 11:10 Uhr wieder.

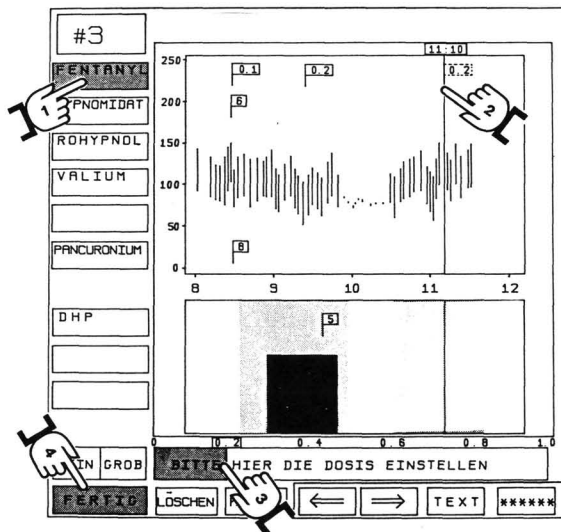


Bild 1: Auslegung einer Arbeitsseite des AIS

Eine Strukturierung der benötigten Information wird durch eine Verteilung auf mehrere gleich aufgebaute Arbeitsseiten erreicht. So enthält z.B. eine Seite die Werte von Blutgasanalysen, während auf einer anderen Seite eine bestimmte Gruppe von Medikamenten protokolliert wird. Die Verteilung ist planar, d.h. alle Seiten sind von einer Verteilerseite aus in einem Schritt erreichbar. Weiterhin kann von jeder Arbeitsseite aus mit der Taste "*****" zur Verteilerseite zurückgesprungen und mit den Tasten "<---" und "--->" zu einer linken bzw. rechten Nachbarseite verzweigt werden.

Der Interaktionssimulator

Ausgehend von /Kieras, Polson, 1985/ und /Kaster, Knäuper, 1987/ wurde ein Simulator der Interaktion Anästhesist - AIS entwickelt. Bild 2 zeigt die Struktur des Interaktionssimulators. Die zur Eingabe in den Interaktionssimulator bestimmten Aufgabensequenzen entstammen realen Operationsprotokollen, die mit dem AIS im Rahmen des Feldtests aufgezeichnet wurden.

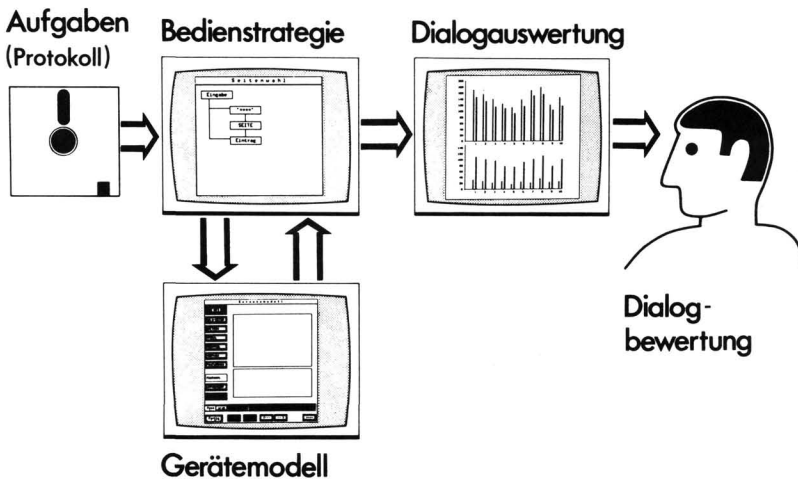


Bild 2: Struktur des Interaktionssimulators

Der Interaktionssimulator besteht aus einem Gerätemodell, einem Benutzermodell und einer Dialogauswertung. Das Gerätemodell des AIS beschreibt die Verteilerseite, die Arbeitsseiten sowie die dazugehörigen Interaktionssequenzen und ermöglicht damit die Nachbildung der manuellen Bedienung. Es ist mit Hilfe von GTN's (Generalized Transition Network) nach Kieras und Polson /1985/ implementiert.

Die zu untersuchende Bedienstrategie wird bis zu einem für den Simulationsversuch erforderlichen Detailgrad analysiert und als Graph implementiert. Das so formulierte Benutzermodell ist mit einer Datenerfassungskomponente versehen, die die Daten für die anschließende Dialogauswertung sammelt.

In der Dialogauswertung werden die erhobenen Daten zusammen-

gefaßt, statistisch aufbereitet und dargestellt.

Mit diesem Interaktionssimulator kann im Simulationsversuch der Verlauf der manuellen Protokollierungstätigkeit am AIS während einer Operation im Detail rekonstruiert und ausgewertet werden. Die so ermittelten Ergebnisse müssen anschließend bewertet werden. Dies erfordert geeignete Kriterien, deren Bestimmung in der Regel schwierig ist. Nach unseren Erfahrungen ist dazu ein heuristisches Vorgehen notwendig.

1. Versuch: Eingabe von Analogwerten

Im ersten Versuch wird die Skalierung des "virtuellen Werteschiebers" (Bild 1) untersucht. Dieser Werteschieber dient zur Eingabe von Analogwerten (z.B. Dosierung eines Medikamentes: Schritt 3 in Bild 1) und wurde als grundlegend neues Interaktionselement in das AIS eingeführt (/Trispel, Rau, 1982/). Mit Fitt's Law, einem sensomotorischen Modell, soll die im Entwicklungsprozeß getroffene Designentscheidung für die Einführung einer optionalen Feinskalierung des Werteschiebers nachvollzogen werden.

In Abhängigkeit von dem konfigurierten Wertebereich und der Schrittweite bestimmt sich die Breite des zu treffenden Bereiches auf dem Werteschieber und damit auch die nötige Genauigkeit bei der Justierung des einzustellenden Wertes. Mit Hilfe von Fitt's Law läßt sich in Abhängigkeit von Abstand A und Breite B des zu "treffenden" Berührungsfeldes die mittlere Zeit berechnen, die zum Berühren des Zielbereiches benötigt wird.

Fitt's Law nach /Card et al., 1983/:

$$t = t_M \cdot \log_2(A/B + 0.5) \text{ in mSec, } t_M = 100 \text{ mSec}$$

Während der Interaktionssimulation werden nun die im Verlauf eines Eingabezyklus auftretenden Zeiten zwischen je zwei Berührungen nach Fitt's Law berechnet und abgespeichert. Am Ende einer Simulation werden über alle aufgetretenen Zeiten das Maximum, das Minimum, der Mittelwert und die Streuung (mittlere quadratische Abweichung) bestimmt.

Der erste untersuchte Eingabezyklus (Strategie A1) setzt sich aus Berühren des zu protokollierenden Begriffs, Einstellen des

Wertes und Berühren der "FERTIG"-Taste (Schritt 1, 3 und 4 in Bild 1) zusammen.

Der zweite untersuchte Eingabezyklus (Strategie B1) nutzt die Möglichkeit der Feinskalierung. Durch Betätigen der "FEIN"-Taste kann der Bereich um den grob eingestellten Wert um das Zehnfache aufgefächert und zu einer genauen Einstellung genutzt werden.

Bild 3 zeigt die Auswertung der Interaktionssimulation von zehn repräsentativen, protokollierten Operationen.

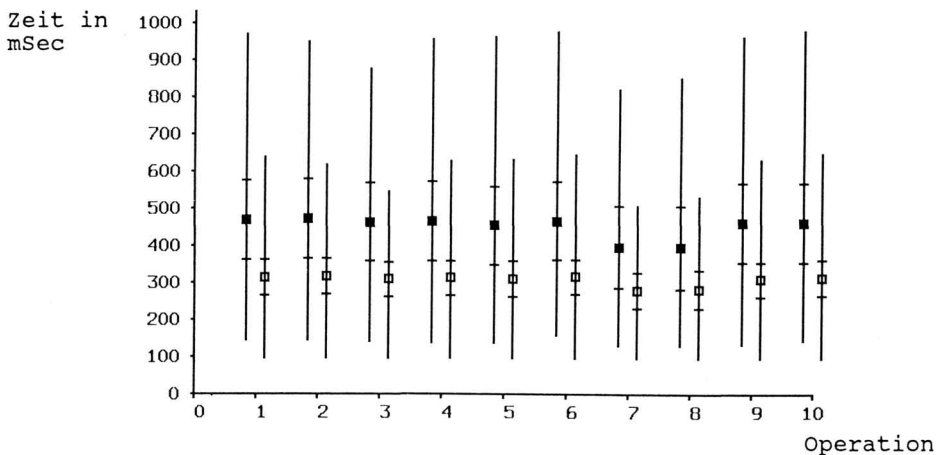


Bild 3: Ergebnisse des ersten Versuchs. Für jede Operation ist die minimale Zeit, die maximale Zeit, der Mittelwert (quadratische Markierung) und die Streuung (Strichmarkierungen) für Strategie A1 (ausgefüllte Quadrate) und Strategie B1 (leere Quadrate) angezeigt.

Wird am Werteschieber keine Feineinstellung vorgesehen (Strategie A1), treten beim Einstellen der Werte Spitzenzeiten von bis zu 1000 mSec auf bei einer Streuung von etwa 200 mSec. Die Feinskalierung (Strategie B1) weitet die Schrittweite auf. Damit vergrößert sich der zu treffende Bereich auf dem Werteschieber und die dazu benötigte Zeit wird kürzer, was sich in einer Absenkung der Spitzen und des Mittelwertes sowie in einer deutlichen Abnahme der Streuung äußert.

Wenn man davon ausgeht, daß der Vorgang des Einjustierens die volle Konzentration des Bedieners verlangt, dann führt der Werteschieber ohne Feinskalierung zu "Konzentrationsspitzen". Die nachträgliche Einführung einer optionalen Feinskalierung

erleichtert das Einjustieren der zu protokollierenden Werte; die Belastung wird "gleichmäßiger" und die Interaktion damit angenehmer.

2. Versuch: Wahl der Arbeitsseite

Im zweiten Versuch wird ein kognitiver Aspekt der Interaktion, und zwar die Anforderungen an das Gedächtnis des Benutzers bei der Bedienung des Informationssystems, untersucht. Dazu werden zwei alternative Bedienstrategien zur Auswahl der Arbeitsseiten am AIS verglichen.

Die erste Strategie (Strategie A2) wurde so gewählt, wie sie im Entwurf des AIS vorgesehen ist: der Benutzer nutzt die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Arbeitsseiten, um sich unnötig lange Wege beim Seitenwechsel zu ersparen. Dies impliziert folgende Bedienstrategie:

Strategie A2:

1. Wenn für den vorzunehmenden Eintrag die aktuelle Arbeitsseite bereits die richtige ist, dann ist kein Umblättern nötig.
2. Wenn Umblättern nötig ist, dann überlege, ob eine der beiden Nachbarseiten die richtige ist. Falls ja, gehe über die Pfeiltasten "<---" oder "--->" zur entsprechenden Seite (1 Schritt).
3. Wenn kein kürzerer Weg möglich ist, benutze den langen Weg über die Verteilerseite (2 Schritte).

Diese Strategie minimiert die Zahl der Berühroperationen. Allerdings sind zur Ausführung dieser Strategie "externe" Informationen nötig, die nicht auf dem Monitor angezeigt werden: Die Frage, welche Arbeitsseite für den vorzunehmenden Eintrag die richtige ist, muß aus dem Gedächtnis oder mit Hilfe einer Tabelle beantwortet werden, da sich auf den Arbeitsseiten kein Inhaltsverzeichnis der anderen Seiten befindet.

Die zweite zu untersuchende Strategie (Strategie B2) ergibt sich aus einer Befragung von Anästhesisten, die das AIS zur Protokollierung von Operationen benutzt haben:

Strategie B2:

1. Wenn für den vorzunehmenden Eintrag die aktuelle Arbeitsseite

bereits die richtige ist, dann ist kein Umblättern nötig.

2. Wenn Umblättern nötig ist, wähle immer den Weg über die Verteilerseite (2 Schritte).

Im Gegensatz zu den Arbeitsseiten ist auf der Verteilerseite für die Hälfte der Arbeitsseiten ein Inhaltsverzeichnis angelegt (Aus Platzgründen mußte ein Verzeichnis für die andere Hälfte der Arbeitsseiten entfallen.). Für die so beschriebenen Seiten entfällt der Zugriff auf externe Informationen.

Die zu vergleichenden Bedienstrategien A2 und B2 wurden als zwei Versionen des Benutzermodells implementiert. In Simulationsläufen wurde die Protokollierungstätigkeit bei zehn Operationen nachvollzogen und ausgewertet. Dabei wurden die Anzahl der Berührungen sowie die Anzahl der Zugriffe auf externe Informationen erfaßt. Die Ergebnisse der Simulationsläufe sind in Bild 4 dargestellt.

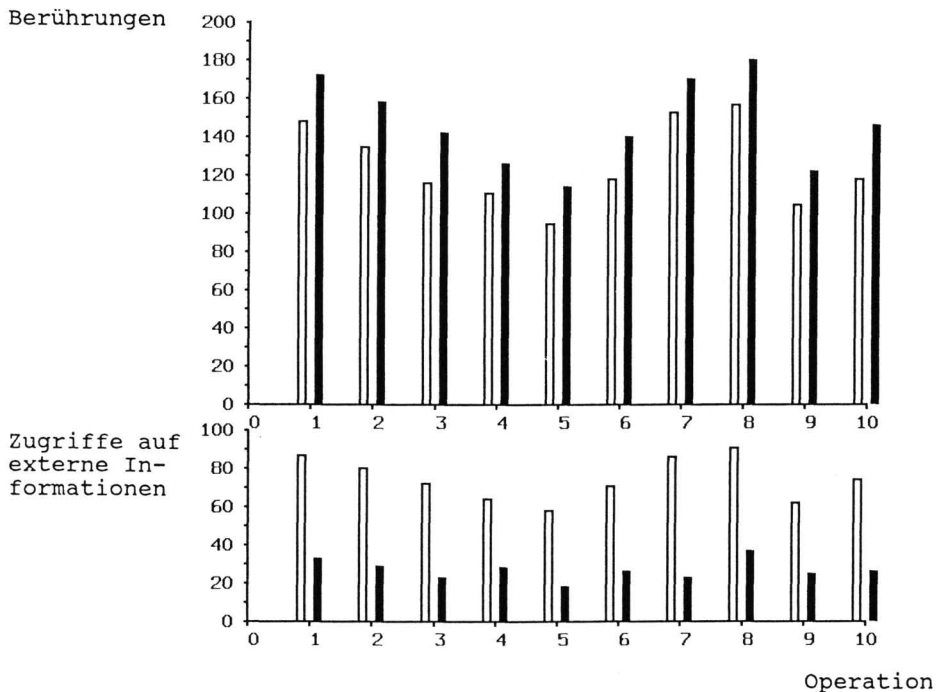


Bild 4: Ergebnisse des zweiten Versuchs. Leere Balken stellen die Werte von Strategie A2 und ausgefüllte Balken die Werte von Strategie B2 dar.

Die Anzahl der Berühroperationen bei Strategie B2 nimmt wie erwartet gegenüber Strategie A2 zu, da die Abkürzung über die Pfeiltasten nicht mehr genutzt wird.

Während allerdings nur geringfügig mehr Berührungen nötig sind, nimmt die Anzahl der belastenden und zeitraubenden Zugriffe auf externe Informationen erheblich ab.

Im Operationsraum ist die Handhabung einer Tabelle unpraktikabel und die zur Ausführung von Strategie A2 benötigten Informationen müssen auswendig gelernt werden. Es zeigt sich, daß Strategie B2 die mentale Belastung minimiert, was die Bevorzugung dieser Strategie durch die Anästhesisten plausibel macht.

Diskussion und Ausblick

Es wurde gezeigt, daß sich bestimmte Ausschnitte des Gestaltungsablaufes am AIS bzw. Aspekte des Benutzerverhaltens im Modellversuch nachvollziehen lassen. Die Studie unterstützt somit die Annahme, daß Interaktionssimulation von Mensch-Maschine-Systemen als Grundlage zur modellgestützten Bewertung von Benutzerschnittstellen dienen kann und eine Voroptimierung im Gestaltungsablauf ermöglicht.

Allerdings ist der Aufbau eines Interaktionssimulators sehr aufwendig. Im Vergleich dazu gibt es im gesamten Gestaltungsablauf für eine Benutzerschnittstelle etliche Aspekte, die nicht durch Modellversuche optimiert werden können. Daher ist ein effizienter Einsatz der modellgestützten Bewertung nur in einer Modellierungsumgebung möglich, in der Benutzer- und Geräte-modelle leicht formuliert und analysiert werden können. Eine Bibliothek genügend validierter Modelle von kognitiven, perzeptiven, sensorischen und motorischen Vorgängen beim Menschen sollte zur Verfügung stehen, um möglichst viele Aspekte der Benutzerschnittstelle im Modellversuch untersuchen zu können.

Weiterhin stehen im allgemeinen bei der Entwicklung von Benutzerschnittstellen keine Protokolle zur Verfügung, in denen sich die charakteristischen Arbeitsabläufe des betrachteten Mensch-Maschine-Systems widerspiegeln. Hier bietet sich zur Generierung adäquater Aufgabensequenzen möglicherweise eine Simulation des betrachteten Gesamtsystems an.

Herrn Dipl.-Ing. J. Kaster, Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Wachtberg-Werthhoven, danken wir für zahlreiche Anregungen und Diskussionen.

Literatur

- Anderson, J.R. (1983): "The Architecture of Cognition".
Harvard University Press: Cambridge, England.
- Card, S.; Moran, T.; Newell, A. (1983): "The Psychology of Human Computer Interaction". Lawrence Erlbaum: Hillsdale, N.J., USA.
- Kaster, J.; Knäuper, A. (1987): "Kognitive Modellierung und Rapid Prototyping - Neue Forschungsschwerpunkte bei der Gestaltung und Bewertung von Benutzerschnittstellen". Bernotat, Gärtner, Widdel (eds.): Spektrum der Anthropotechnik, Wachtberg-Werthhoven, 221-233.
- Kieras, D.; Polson, P. (1985): "An approach to the formal analysis of user complexity". International Journal of Man-Machine Studies, 22, 365-394.
- Klocke, H.; Trispel, S.; Rau, G.; Hatzky, U.; Daub, D. (1986): "An Anesthesia Information System for Monitoring and Record Keeping during Surgical Anesthesia", Journal of Clinical Monitoring 2(4), 246-261.
- Klocke, H.; Rau, G.; Schecke, Th. (1987): "Direkte Manipulation durch Berühreingabe bei einem Anästhesie-Information- und Entscheidungsunterstützungssystem". W. Schönplugh, M. Wittstock (Hrsg.): Software-Ergonomie '87, Bericht des German Chapter of the ACM, Teubner: Stuttgart, 146-155.
- Rau, G.; Trispel, S. (1982): "Ergonomic Design Aspects in Interaction Between Man and Technical Systems in Medicine", Medical Progress through Technology 9, 153-159.
- Trispel, S.; Rau, G. (1982): "User Guidance Strategies for the Visuell Interface with Virtual Control Elements", Int. Zürich Seminar on Digital Communications, Man-Machine-Interactions, March 9-11.

Dipl.-Inform. Bernhard Thull
Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik
an der RWTH Aachen
Pauwelsstraße
D-5100 Aachen

Diskussionsgruppen und Poster

