

Deskription und Analyse komplexer Verhaltenssequenzen: Benutzerstrategien beim Arbeiten mit CAD-Systemen*)

Ute Schmid und Bodo Meseke

Technische Universität Berlin

Es wird ein Verfahren vorgestellt, das es ermöglicht, Eingabesequenzen von Computeranwendern bei der Lösung einer komplexen Aufgabe zu vergleichen. Die individuellen Sequenzen werden in Markov-Ketten erster Ordnung umgewandelt. Die Ähnlichkeit dieser quadratischen Matrizen kann dann über die Abweichungen der Zellenwerte ermittelt werden. Es resultiert eine symmetrische Matrix der Sequenzdistanzen, die zu weiteren quantitativen Analysen (z.B. multidimensionale Skalierung) verwendet werden kann. Das Verfahren wird auf den Vergleich von Eingabeprotokollen bei der Arbeit mit einem CAD-System angewendet, um Hinweise auf unterschiedliche Benutzertypen zu erhalten. Die Sequenzunterschiede konnten auf zwei für die Arbeitseffektivität bedeutsame Benutzermerkmale — „adäquate Befehlsrepräsentation“ und „Arbeitsstil“ — zurückgeführt werden.

Einführung

Forschungsarbeiten zur Mensch-Computer-Interaktion beziehen sich vor allem auf zwei Bereiche: Untersuchungen von Programmierern einerseits und von Computeranwendern andererseits. Während Untersuchungen aus dem Bereich Programmieren und Programmverständnis (z.B. Johnson, 1988) häufig die Zielsetzung verfolgen, Programmierstile und deren unter-

*) Die Daten des Anwendungsbeispiels stammen aus einer Untersuchung im Rahmen der DFG-Forschergruppe „Nichttechnische Komponenten des Konstruktionshandelns bei zunehmendem CAD-Einsatz“ im Teilprojekt „Computerunterstützte Diagnosesysteme für die Bewertung von CAD-Software“ unter Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Upmeyer (Ma 305/25-1f).

Wir danken Herrn Dr. Uwe Kondering, von dem wichtige methodische Anregungen für diese Arbeit stammen und der durch die kritische Durchsicht des Artikels wesentlich zur Strukturierung der Darstellung beitrug.

schiedliche Adäquatheit zu erfassen, wird bei Untersuchungen von Anwenderprogrammen vor allem die Effektivität des Systems im Hinblick auf verschiedene Aufgabenstellungen (z. B. Card, Moran & Newell, 1983) oder die Benutzerfreundlichkeit des Systems geprüft. Individuelle Arbeitscharakteristika von Computeranwendern werden bei diesen Ansätzen meist vernachlässigt.

Will man eine effiziente Interaktion des Benutzers mit einem Anwenderprogramm erreichen, kann es aber notwendig werden, individuelle Unterschiede beim Umgang mit Programmsystemen zu berücksichtigen. So könnten Schwierigkeiten, die Benutzer beim Umgang mit einem bestimmten System haben, auf individuelle Ursachen, zum Beispiel nichtadäquate Arbeitsstrategien, zurückzuführen sein.

Erfasst man die vollständige Interaktion von System-Benutzern mit einem Anwenderprogramm bei der Lösung einer realitätsnahen Aufgabe, erhält man auf der Benutzenseite eine Abfolge von Befehlseingaben. Die Eingabeabfolgen verschiedener Benutzer unterscheiden sich in zweierlei Hinsicht: Zum einen sind die Eingabesequenzen unterschiedlich lang und zum anderen enthält jede Abfolge unterschiedliche Teilmengen von Befehlen.

Eine systematische Untersuchung von Benutzerstrategien setzt voraus, daß sinnvolle Methoden zur Analyse der beschriebenen Eingabesequenzen vorhanden sind. Eine einfache und häufig verwendete Vorgehensweise ist die Erfassung von Häufigkeiten typischer Arbeitshandlungen — wie Löschen, die Rücknahme von Befehlen, Aufruf von Hilfsfunktionen und ähnliches. Die Benutzer können dann entsprechend dieser Häufigkeitsdaten gruppiert werden. Informationen über die Reihenfolge der Befehlseingaben bleiben dabei unberücksichtigt. Möglicherweise wirken sich die relevanten Benutzerunterschiede gerade auf diese Reihenfolgecharakteristiken aus.

Im folgenden wird eine Methode vorgestellt, mit der überprüft werden kann, ob in den Eingabeabfolgen diagnostische Information im Hinblick auf ein vorgegebenes Merkmal der Benutzer (z. B. Effektivität) enthalten ist. Weiterhin liefert die Methode eine Grundlage zur Bestimmung von Konstrukten, die mit dem fraglichen Benutzermerkmal kovariieren. Die Anwendung der Methode wird im Anschluß an einem Datenbeispiel demonstriert.

Methode

Übersicht

Die methodische Idee gliedert sich in fünf Schritte.

Erstens: Die individuellen Sequenzen werden in Markov-Ketten erster Ordnung umgewandelt.

Zweitens: Die euklidischen Distanzen zwischen den Markov-Ketten werden berechnet.

Drittens: Die Distanzen zwischen den Sequenzen werden multidimensional skaliert.

Viertens: Es wird geprüft, inwieweit die resultierenden Dimensionswerte mit den für die Fragestellung relevanten Außenkriterien korrelieren.

Fünftens: Die Unterscheidungsmerkmale der Sequenzen werden interpretiert.

Die fünf Schritte werden im Bereich des technischen Zeichnens (CAD) exemplarisch operationalisiert und die Details der Untersuchungsdurchführung werden beschrieben.

Darstellung von Sequenzen als Markov-Ketten

Zur einheitlichen Darstellung werden die individuellen Sequenzen in Markov-Ketten erster Ordnung (siehe Fersch, 1970) umgewandelt.

Aus der Vereinigungsmenge aller verschiedenen Ereignisse in den Sequenzen (i. e. Befehlseingaben) wird eine $m \times m$ -Matrix gebildet. Für jede Sequenz werden die Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Ereignis zum nächsten in die Matrixzellen eingetragen. Um die Wahrscheinlichkeitswerte für die unterschiedlich langen Sequenzen vergleichbar zu halten, werden die Übergangswahrscheinlichkeiten durch Relativierung der Häufigkeiten an der Gesamtzahl der Übergänge einer Sequenz ($n-1$), statt wie üblich an der Zeilensumme der Häufigkeiten, gebildet. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten für die Ereignisse einer Sequenz ergeben sich also als:

$$P_{ij} = \frac{f_{ij}}{n-1} \quad (1)$$

mit

f_{ij} : Übergangshäufigkeit von Ereignis i zu Ereignis j

i, j : Zeilen-/Spaltenindizes von $1 \dots m$

n : Anzahl der Ereignisse einer Sequenz.

So erhält man für l individuelle Eingabesequenzen l quadratische Matrizen des gleichen Typs.

Berechnung der Distanzen zwischen den Markov-Ketten

Die als Markov-Ketten dargestellten Sequenzen können über die Abweichung ihrer Zelleninhalte direkt miteinander verglichen werden.

Als Distanzmaß wird ein euklidisches Maß verwendet. Da die Übergangswahrscheinlichkeiten bei Anwendungen des Verfahrens häufig sehr niedrig sind, empfiehlt es sich, die Wahrscheinlichkeiten vor Berechnung der euklidischen Distanzen durch Multiplikation mit einer positiven Konstante (z. B. $k = 1000$) zu transformieren. Die Distanz zwischen je zwei Sequenzen ergibt sich als Wurzel der Summe der quadrierten Zellendifferenzen:

$$D_{pq} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (p_{ij} - q_{ij})^2} \quad (2)$$

mit

i, j : Zeilen-/Spaltenindizes von $1 \dots m$

p_{ij} : Zellenwerte für Sequenz p

q_{ij} : Zellenwerte für Sequenz q .

Durch den paarweisen Vergleich der Sequenzen erhält man eine symmetrische Distanzmatrix.

Multidimensionale Skalierung der Sequenzdistanzen

Symmetrische Distanzmatrizen können als Eingangsdaten für multivariate Analyseverfahren verwendet werden. Die beiden gängigsten Verfahrensgruppen zur Analyse von Distanzen sind Clusteranalyse (siehe Eckes & Roßbach, 1980) und multidimensionale Skalierung (MDS; siehe Kühn, 1976). Es sprechen mehrere Gründe dafür, einem MDS-Verfahren den Vorzug zu geben.

Erstens nehmen wir an, daß sich individuelle Eingabesequenzen bezüglich ihrer kontinuierlichen Ausprägung auf verschiedenen Merkmalen unterscheiden lassen, sich aber nicht notwendigerweise diskret und hierarchisch ordnen.

Zweitens sprechen einige praktische Erwägungen für ein MDS-Verfahren: Sowohl multidimensionale Skalierung als auch Clusteranalyse sind interpretative Verfahren. Bei MDS-Verfahren stehen jedoch quantitative Kriterien zur Verfügung, um die Willkürlichkeit der Interpretation einzuschränken. Es existieren Prüfmaße (z. B. Streß), die es ermöglichen, die Zuverlässigkeit der gefundenen Lösungskonfiguration einzuschätzen; die Dimensionswerte lassen sich über Korrelation mit zusätzlich erhobenen Kenngrößen interpretieren und validieren.

Zusammenhang der Dimensionswerte mit Außenkriterien

Um zu prüfen, ob in den mit obiger Methode erfaßten sequentiellen Unterschieden zwischen Computerbenutzern mehr Information im Hinblick auf die jeweilige Untersuchungsfragestellung enthalten ist, als in der Beschreibung des Arbeitsverhaltens durch Häufigkeitsskalen, wird die Betrachtung von multiplen Regressionskoeffizienten für beide Kennwertklassen vorgeschlagen.

Dabei hängt es von der Fragestellung ab, welches Außenkriterium zu betrachten ist. Sinnvolle Kriterien sind zum Beispiel verschiedene Effizienz- oder Gütemaße, die sich auf das Arbeitsergebnis beziehen.

Als Prädiktoren werden einmal die Dimensionswerte der gefundenen MDS-Konfiguration und einmal die Häufigkeitsskalen verwendet. Ist der Regressionskoeffizient für die Vorhersage der Außenkriterien mit den Dimensionswerten stets höher als bei der Vorhersage durch die Häufigkeitsskalen, heißt das, daß die Sequenzdistanzen mehr Information bezüglich der Außenkriterien enthalten als die Häufigkeitsskalen.

Ermittlung der Merkmale zur Unterscheidung der Sequenzen

In einem letzten Schritt können nun Hypothesen darüber generiert werden, welche Information aus den Sequenzen es ist, die die Benutzer im Hinblick auf die gesetzten Außenkriterien unterscheidet. Zur Interpretation der räumlichen Repräsentation können alle bekannten Techniken (Shepard, 1972, S. 39 ff.) herangezogen werden. Vor allem das Hinzuziehen externer Variablen ist zur Absicherung der Dimensionsetikettierung zu empfehlen. Eventuell ist es notwendig, die Dimensionen zu rotieren, um hohe Korrelationen mit den externen Variablen zu erhalten.

Untersuchungsdurchführung

Die vorgestellte Methode wurde auf Daten, die in einer Untersuchung des Projekts „Computerunterstützte Diagnosesysteme für die Bewertung von CAD-Software“ (Upmeyer et al., 1988) erhoben wurden, angewendet.

Im Rahmen der Untersuchung wurden 90minütige Eingabesequenzen von 24 Probanden beim Übertragen einer technischen Zeichnung mit dem CAD-System AutoCAD vollständig erfaßt.

Bei der verwendeten Hardwarekonfiguration standen als Eingabemedien Tastatur und Maus zur Verfügung. Die Version bot in etwa 85 verschiedenen 20zeiligen Menüs 200 verschiedene Befehle an. Die vorgelegte technische Zeichnung stellte ein Flanschlager (Verbindungsstück zwischen Rohren) in Seitenansicht und Draufsicht und mit Legende dar.

Die untersuchte Stichprobe bestand aus 23 Ingenieurstudenten mit vergleichbarer AutoCAD-Vorerfahrung und einem AutoCAD-Experten.

Alle Eingaben der Probanden wurden online erfaßt und an einen zweiten Rechner im Nebenraum übertragen (Logfile-Recording). Zusätzlich wurde die Monitoroberfläche des Arbeitsrechners während der ganzen Sitzung auf Video erfaßt.

Die Programme zum Logfile-Recording sowie zur Datenaggregation wurden im Projekt „Softwareevaluierung“ erstellt. Die Datenaufzeichnung wurde durch speicherresidente Programme in Assemblersprache (Intel 80 286) realisiert (MAUS.ASM, NEUSK.ASM). Alle weiteren Programme wurden in TURBO PASCAL realisiert. Ein Empfangsmodul (SHOW.PAS) integrierte die für beide Eingabegeräte Maus und Tastatur getrennt erfaßten Daten. In einem weiteren Schritt wurden die Daten in einer für die automatische Weiterverarbeitung geeigneten Form aufbereitet (SYNCHRO.PAS).

Zusätzliche Kenngrößen zur Beschreibung der Sequenzen

Zur Interpretation und Validierung der MDS-Lösungen wurden zusätzliche Kenngrößen eingeführt.

Erstens: Drei Sequenzen, deren Bedeutung a priori bekannt war.

Zweitens: Vier Häufigkeitsskalen, die aus den Eingabesequenzen ermittelt wurden.

Drittens: Drei Gütemaße, die die Vollständigkeit der Aufgabenlösung erfassen.

Sequenztypen

Zum einen gehen drei Sequenzen mit in die Distanzmatrix ein, deren Bedeutung a priori festgelegt ist (Abb. 1). Das sind die Sequenz des AutoCAD-Experten, eine Normsequenz und die für die untersuchte Stichprobe prototypische Sequenz. Die Normsequenz gibt den kürzesten Weg der vollständigen und korrekten Aufgabenlösung an. Die Prototypsequenz ist die Sequenz desjenigen Probanden, zu dem alle anderen Probandensequenzen die geringste Distanz haben.

Wenn die MDS-Konfiguration Benutzerstrategien sinnvoll abbildet, muß der Prototyp im Schwerpunkt der Konfiguration liegen; Norm und Experte müßten nahe beieinander liegen, da man annehmen kann, daß ein CAD-Experte effizient mit dem System arbeitet.

Sequenztyp	Definition
Expertensequenz	Lösungssequenz eines erfahrenen Systembenutzers
Normtypsequenz	normative Vorgabe einer effektiven Lösungssequenz im Sinne einer vollständigen und korrekten Lösung bei minimaler Anzahl von Eingaben
Prototypsequenz	„mittlere“ Lösungssequenz, Sequenz, zu der alle anderen Sequenzen die geringste Distanz aufweisen

Abb. 1
Sequenztypen

Häufigkeitsskalen

Zum anderen wurden zusätzlich nicht-sequentielle Kenngrößen aus den Eingabesequenzen abgeleitet (Abb. 2).

Eine Kenngröße ist das Verhältnis der Verwendung der Eingabemedien Tastatur und Maus. Nach Shneiderman (1984) kann ein hoher Anteil an Tastatureingaben als Indikator für Expertise angesehen werden. Der Quotient wird mit der Anzahl der Mauseingaben im Zähler und der Anzahl der Tastatureingaben im Nenner gebildet. Das heißt, niedrige Werte bedeuten einen hohen Anteil an Tastaturbenutzung.

Häufigkeitsskalen	Indikator für
Tastaturkoeffizienz	Expertise
Anzahl der Eingaben Zahl der verschiedenen verwendeten Befehle	Repräsentation der Möglichkeiten des Systems
Wechsel zwischen den Zeichnungsteilen	Effizienz

Abb. 2
Häufigkeitsskalen zur Strategiebeschreibung

Zwei weitere Kenngrößen sind die Anzahl der Eingaben und die Menge verschiedener Eingaben als Indikatoren für die Repräsentation der Möglichkeiten des Systems.

Eine letzte Kenngröße ist die relative Anzahl an Wechseln zwischen den Zeichnungsteilen (Seitenansicht, Draufsicht, Legende) als Indikator für effizientes Arbeiten. Bei der Arbeit mit einem CAD-System ist es im Unterschied zum Arbeiten am Zeichenbrett durchaus sinnvoll, häufiger zwischen den Zeichnungsteilen hin- und herzuwechseln. Denn teilweise müssen bestimmte Systemzustände, wie Linientypmodi durch aufwendige Befehlseingaben hergestellt werden. Es empfiehlt sich beispielsweise, alle die Zeichnungselemente nacheinander zu zeichnen, die denselben Linientyp haben sollen.

Gütemaße

Als Außenkriterium werden drei Größen zur Beschreibung der Strategiegüte eingeführt. Die vorgelegte technische Zeichnung wurde analytisch in 93 Zeichnungselemente (Kreise, Linien, Textelemente, Schraffuren, etc.) gegliedert. Zeichnungselemente, die ähnliche oder identische Befehlssequenzen zur Generierung benötigen, wurden zu Teilaufgaben zusammengefaßt.

Als Gütemaße werden definiert:

- Die Zahl der begonnenen Teilaufgaben,
- die Zahl der vollständig gelösten Teilaufgaben und
- die Zahl der generierten Zeichnungselemente

als Kennwerte für die Vollständigkeit der Aufgabenlösung.

Ergebnisse

Deskription der erfaßten Eingabesequenzen

Die von den Probanden produzierten Lösungssequenzen variieren von 400 bis 1200 Eingaben. Jeder Proband verwendete einen unterschiedlichen Teilbefehlssatz aus 150 verschiedenen Befehlen und Parametern (Tab. 1). Um zu prüfen, ob die Distanzen zwischen den Markov-Ketten bedeutsame Sequenzunterschiede erfassen, wurden die Distanzen der Probanden zu den Sequenztypen interkorreliert (Tab. 2). Die Distanzen der Probanden zu Norm und Experten korrelieren zu .97. Das heißt, Probandensequenzen, die sich stark von der Expertensequenz unterscheiden, unterscheiden sich ebenfalls stark von der Normsequenz. Die Distanzen der Probandensequenzen zur Prototypsequenz korrelieren dagegen erwartungsgemäß nicht signifikant mit den Distanzen zu Norm und Experten.

Tabelle 1
Beschreibung der Sequenzen

	Anzahl der Eingaben	Anzahl verschiedener Eingaben
Minimum	382	30
Maximum	1196	62
Mittelw.	748	49
Experte	916	74
Norm	522	51
Prototyp	962	49

Tabelle 2
Interkorrelation der Distanzen zu den Sequenztypen

Distanz zu	Expertensequenz	Normsequenz
Normsequenz	0.97**	
Prototypsequenz	0.23	0.13

n = 24 Pearson Produkt-Moment-Korrelation
df = 22 $r_{0.05} = 0.40$ $r_{0.01} = 0.52$

Ergebnisse der multidimensionalen Skalierung der Sequenzdistanzen

Als Verfahren der multidimensionalen Skalierung wurde MRSCAL (Lingoes & Roskam, 1981, MDS(X)) verwendet. Da das Verfahren hypothesengenerierend angewendet wurde, wurde die Dimensionalität durch Betrachtung des Abfalls der Prüfgröße für verschiedendimensionale Lösungen ermittelt. Die zweidimensionale Lösung (Alienationskoeffizient = 0.19) wurde akzeptiert. Diese Lösungskonfiguration (Abb. 3) kann auch am besten durch Korrelation mit den Häufigkeitsskalen und durch die Position der Sequenztypen interpretiert werden.

Die Güte des Arbeitsergebnisses wird durch die Dimensionswerte der Benutzer besser vorhergesagt als durch die Häufigkeitsskalen (Tab. 3). Das multiple R liegt für jede Vorhersage um etwa 0.10 höher, die Varianzaufklärung (R^2) liegt jeweils um etwa 10% höher, wenn die Dimensionswerte als Prädiktoren verwendet werden.

Bei Verwendung sequentieller Information zur Beschreibung von Benutzerstrategien ergibt sich also ein stärkerer Zusammenhang mit der Arbeitseffektivität der Programmbenutzer, als bei Verwendung von Häufigkeitsskalen.

Tabelle 3
Vorhersage der Gütemaße

Kriterium	Prädiktoren	R	R ²
Anzahl begonnener Teilaufgaben	Dimensionswerte	.69**	.47
	Häufigkeitsskalen	.58	.34
Anzahl beendeter Teilaufgaben	Dimensionswerte	.75**	.57
	Häufigkeitsskalen	.62*	.39
Anzahl generierter Elemente	Dimensionswerte	.72**	.53
	Häufigkeitsskalen	.63*	.39

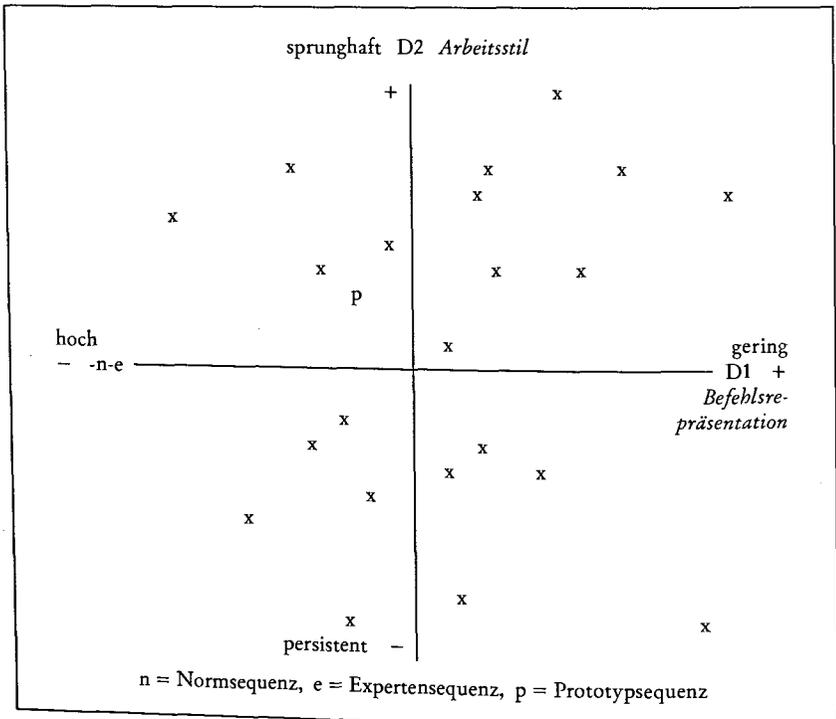


Abb. 3
MDS-Lösungskonfiguration

In einem nächsten Schritt wird nun festgestellt, wie die multidimensional skalierten Sequenzdistanzen inhaltlich zu beschreiben sind. Die Bedeutung der MDS-Dimensionen wird hierzu durch die Position der Sequenztypen in der Konfiguration, sowie durch Korrelation mit den Häufigkeitsskalen interpretiert.

Sequentielle Kennwerte zur Beschreibung von Benutzerstrategien

Zur Interpretation der Dimensionen wird zunächst die Position der Sequenztypen in der Konfiguration betrachtet (Abb. 3).

Experte und Norm liegen dicht zusammen und von den übrigen Sequenzen abgesetzt am Rand der Konfiguration. Der Prototyp liegt im Schwerpunkt der Punktwolke. Experte und Norm liegen auf der ersten Dimension am negativen Ende und bei der zweiten Dimension nahe am Ursprung.

Die Korrelation der Dimensionswerte mit den Häufigkeitsskalen ergibt folgendes Bild (Tab. 4):

Tabelle 4
Korrelation der Dimensionswerte mit den Häufigkeitsskalen

	Dimension 1	Dimension 2
Dimension 2	0.0	
Distanz zur Normsequenz	0.86**	-0.08
Anzahl der Eingaben	-0.29	0.36
Zahl der verschiedenen verwendeten Befehle	-0.44*	0.28
Tastaturkoeffizienz	0.55**	0.08
Wechsel zwischen den Zeichnungsteilen	-0.09	0.44*
n = 25 Pearson Produkt-Moment-Korrelation df = 23 $r_{0,05} = 0.40$ $r_{0,01} = 0.51$		

Die Werte der ersten Dimension korrelieren signifikant mit den Häufigkeitsskalen „Tastaturkoeffizient“ und „Zahl der verschiedenen verwendeten Befehle“. Personen, die vor allem die Tastatur benutzen und viele verschiedene Befehle verwenden, liegen auf der ersten Dimension, also auf der negativen Seite.

Die zweite Dimension korreliert signifikant mit der relativen Anzahl von Wechseln zwischen Zeichnungsteilen. Personen, die sehr häufig zwischen

den Zeichnungsteilen wechseln, liegen am oberen Ende der Dimension und umgekehrt. Norm und Experte liegen auf dieser Dimension direkt am Nullpunkt. Das heißt, sie befinden sich zwischen den Personen, die sehr häufig und denen, die sehr selten zwischen den Zeichnungsteilen wechseln; also zwischen einem sehr persistenten und einem sehr sprunghaften Vorgehen.

Diskussion

Mit Hilfe dieser Außenkriterien wurden die Dimensionen schließlich als „Befehlsrepräsentation“ und „Arbeitsstil“ interpretiert.

Befehlsrepräsentation wird hier verstanden als die Anzahl der einer Person bekannten Befehle und ihr Wissen um deren korrekte Anwendung. Ein hohes Maß an Befehlsrepräsentation zeigt sich hier unter anderem am Grad der Benutzung der Tastatur gegenüber der Maus. Benutzer, die verstärkt mit der Tastatur arbeiten, müssen die relevanten Befehle mental repräsentiert haben, während Benutzer, die vor allem mit der Maus arbeiten, sich die Befehle in verschiedenen Menüs ansehen und auswählen können. Die Position von Norm und Experten bestätigen diese Interpretation.

Arbeitsstil wird hier verstanden als die Abfolge der Bearbeitung verschiedener Zeichnungsteile. Bezüglich des Arbeitsstiles läßt sich für das Arbeiten mit dem verwendeten CAD-System schließen, daß eine weder zu persistente noch eine zu sprunghafte Arbeitsweise am effizientesten zu sein scheint. Benutzer, die sich weder zu stark auf einen Zeichnungsteil konzentrieren, noch zu häufig zwischen Zeichnungsteilen wechseln, lieferten die besten Arbeitsergebnisse. Norm und Experte befinden sich entsprechend im mittleren Bereich dieser Dimension.

Die beiden gefundenen Dimensionen „Befehlsrepräsentation“ und „Arbeitsstil“ stimmen mit einem von Kieras und Polson (1985) vorgeschlagenen Benutzermodell überein. Sie unterscheiden task-representation und device-representation als die beiden wichtigsten Wissenskomponenten, die das erfolgreiche Arbeiten mit einem System bestimmen. Device-representation umfaßt das Wissen des Benutzers über das System selbst: Wissen über zur Verfügung stehende Befehle, darüber, wie diese Befehle aufgerufen werden und was sie bewirken. Die device-representation entspricht also der Dimension „Befehlsrepräsentation“. Task-representation umfaßt das Wissen des Benutzers darüber, wie eine gestellte Aufgabe sinnvoll mit dem System zu bearbeiten ist. Die wichtigste Größe dieser Wissenskomponente ist die Zielstruktur (goal structure), also die Hierarchie von Zielen und Teilzielen, der ein Benutzer bei der Aufgabenbearbeitung folgt. Die task-representation entspricht also der Dimension „Arbeitsstil“.

Die hier vorgeschlagene Methode zum Vergleich komplexer Sequenzen hat in ihrer ersten Anwendung zu einer sinnvollen Typisierung von Benutzerstrategien geführt.

In verschiedenen Bereichen, zum Beispiel in der Problemlöseforschung, wird in zunehmendem Maße erkannt, daß die sequentielle Information aus dem Problemlöseverhalten von Probanden wertvolle Aufschlüsse für Fragen der Wissensdiagnostik gibt (Dörner, 1986). Methodische Ansätze für die Analyse von Sequenzen liegen jedoch nur für konkret überschaubare Problemräume (z. B. Turm von Hanoi) oder sehr kurze Sequenzen (Reitman & Rueter, 1980; Hirtle, 1987) vor. Analysen von Verhaltenssequenzen, die Probanden bei der Lösung realitätsnaher Probleme oder Aufgaben produzieren, beschränken sich meist auf Häufigkeitsstatistiken oder heuristische Analysen. Die hier vorgeschlagene Methode ist ein erster Versuch, realitätsnahe Lösungssequenzen mit formalen Mitteln zu beschreiben. Der Ansatz ist durchaus auf andere Problembereiche übertragbar, sofern sich die erhobenen Sequenzen als Abfolge diskreter Elemente darstellen lassen.

Summary

This paper presents a method for comparing sequences produced by computer users. In a first step the sequences are transformed into first-order markov-chains. Similarity between these lattices can be directly calculated by summation of the differences between lattice-cells. The resulting distances provide input data for multidimensional scaling models.

The method is applied to log files gained from users of a CAD system. Finally the input sequences were distinguished on two dimensions — the mental representation of commands and the task-solving style — both contributing to the effectiveness of performance.

Literatur

- Card, St. K., Moran R. P. & Newell A. (1983). *The psychology of human computer interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32 (4), 290—308.
- Eckes, Th. & Roßbach, H. (1980). *Clusteranalysen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Ferschl, F. (1970). Markovketten. In M. Beckmann & H. P. Künzi (Eds.), *Lecture notes in operations research and mathematical systems* (Vol. 35). Berlin—Heidelberg: Springer.
- Hirtle, S. C. (1987). On the classification of recall strings using lattice-theoretic measures. *Journal of Classification*, 4 (2), 227—242.
- Johnson, W. L. (1988). Modelling programmers' intentions. In J. Self (Ed.), *Artificial Intelligence and Human Learning* (pp. 374—390).

- Kieras, D. & Polson, P. G. (1985). An approach for the formal analysis of user complexity. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 365—394.
- Kühn, W. (1976). *Einführung in die Multidimensionale Skalierung*. München: Reinhardt, UTB.
- MDS (X) (1981). (*Manual*) (Inter-University/Research Councils Series (Report No 51)).
- Reitman, J. S. & Rueter, H. H. (1980). Organization revealed by recall orders and confirmed by pauses. *Cognitive Psychology*, 12, 554—581.
- Shepard, R. N. (1972). A taxonomy of some principal types of data and of multidimensional methods for their analysis. In R. N. Shepard, A. K. Romney & S. B. Nerlove (Eds.), *Multidimensional scaling* (Vol. I, p. 23—57). New York: Seminar Press.
- Shneiderman, B. (1984). The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. In Y. Vassiliou (Ed.), *Human factors and interactive computer systems* (pp. 1—27). New York: Ablex Publishing Corp.
- Upmeyer, A. et al. (1988). *Teilbericht Projekt F „Computerunterstützte Diagnosesysteme für die Bewertung von CAD-Software“*. Forschungsbericht der DFG-Forschergruppe „Konstruktionshandeln (1987—1988)“. Technische Universität Berlin.

Anschrift der Verfasser: Ute Schmid, Bodo Meseke, Institut für Psychologie, Technische Universität Berlin, Dovesstraße 1—5, 1000 Berlin 10.