

**Mario Pilz**

**Laserpointer-Kamera-System mit hoher  
Zeigeeffektivität und -effizienz**

**Diplomarbeit**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



**Technische Universität Dresden**  
**Fakultät für Informatik**

**Institut für Angewandte Informatik**  
**Professur Mensch-Maschine-Kommunikation**

**Diplomarbeit**

Laserpointer-Kamera-System mit hoher  
Zeigeeffektivität und -effizienz

von

**Mario Pilz**

zum

Erlangen des akademischen Grades

**Diplomingenieur**

(Dipl.-Ing.)

Tag der Anmeldung: 05. Mai 2005

Tag der Abgabe: 02. Dezember 2005



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1	Zeigeeffektivität und Zeigeeffizienz . . . . .	3
2.2	Bisherige Beiträge zu LPKS . . . . .	12
2.3	Stiftbasierte Eingabetechniken . . . . .	27
2.4	Verfügbare kommerzielle Lösungen . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Entwicklung eines neuen LPKS</b>	<b>33</b>
3.1	Konzeption des neuen LPKS . . . . .	33
3.2	Technische Basis . . . . .	40
3.2.1	Verwendete Hardware . . . . .	40
3.2.2	Software zur Bildverarbeitung . . . . .	41
3.2.3	Videoschnittstelle . . . . .	42
3.3	Softwaretechnische Umsetzung . . . . .	43
3.3.1	Laserpunkterkennung . . . . .	43
3.3.2	Rektifizierung von Laserpunktkoordinaten . . . . .	51
3.3.3	Zeigegestenerkennung . . . . .	53
3.3.4	Kontextextraktion . . . . .	56
3.3.5	Zusammenführung von Nutzereingaben und Kontext . . . . .	61
3.3.6	Visualisierung im Interaktionsprozess . . . . .	64
3.4	Dokumentation des Programmcodes . . . . .	67

---

<b>4</b>	<b>Anleitung zur Benutzung des LPKS</b>	<b>69</b>
4.1	Inbetriebnahme des LPKS . . . . .	69
4.2	Individualisierung des LPKS . . . . .	78
<b>5</b>	<b>Quantitative Evaluierung des LPKS</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>91</b>
<b>A</b>	<b>Ergebnisse der Durchsatzanalysen</b>	<b>93</b>
<b>B</b>	<b>Ausgewählte Quelltexte</b>	<b>95</b>
<b>C</b>	<b>Wichtige Funktionen der LPKS - Skriptsprache</b>	<b>105</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>109</b>
	<b>Index</b>	<b>115</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Zusammenhang zwischen Schwierigkeitsindex und Bewegungsdauer nach ISO-Norm 9241-9 (Achsenbeschriftungen wurde ergänzt). . . . .	6
2.2	„Antick-Aufgabe in einer Richtung“ nach [ISO9]. . . . .	8
2.3	„Spurfolge-Test in einer Richtung“ nach [ISO9]. . . . .	9
2.4	„Multidirektionale Antick-Aufgabe“ nach [ISO9]. . . . .	10
2.5	Schematischer Aufbau eines Laserpointer-Kamera-Systems . . . . .	12
2.6	Der Dwell-Mechanismus zum Auslösen eines Mausclicks. . . . .	14
2.7	LPKS nach Kirstein und Müller [Cars98] . . . . .	16
2.8	Mittlere Bewegungszeit je Durchgang nach [Ji-Y02] . . . . .	19
2.9	Vergleich von Eingabegeräten nach [Dunc02] . . . . .	19
2.10	Standartabweichung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Projektionsfläche nach [Brad02] . . . . .	20
2.11	Darstellung der Fehlerwinkel nach [Peck01] . . . . .	22
2.12	LPKS nach J. Davis und X. Chen [J. D02] . . . . .	23
2.13	Schematischer Aufbau des LPKS nach [Mich01] . . . . .	24
2.14	Modifizierter Laserpointer nach [Mich01] . . . . .	24
2.15	Distanzfunktion zur Berechnung der Mauszeigerbeschleunigung nach [Mich01] . . . . .	25
2.16	Streichen über eine „Action Bar“ nach [Terr99] . . . . .	27
2.17	Screenshot aus „CrossY“ nach [Geor04] . . . . .	28
2.18	Kopieren eines Bildausschnitts nach [Ken 05] . . . . .	29
2.19	Bewegen eines Icons nach [Ken 05] . . . . .	29

2.20	Gegenüberstellung von Beobachtungsraum (b) und Bewegungsraum (c) anhand einer Scrollleiste nach [Rena04] . . . . .	30
2.21	Gegenüberstellung von Beobachtungsraum (a) und Bewegungsraum (b) anhand einer Nachrichtenbox mit Buttons nach [Rena04] . . . . .	30
3.1	Verbesserung des Dwell-Mechanismus durch adaptive Zeigerbeschleunigung, Dwell-Bereich und Zeigerdarstellung. . . . .	34
3.2	Vorschlag für das Auslösen von Mausclicks auf der Basis des Dwell-Mechanismus. . . . .	35
3.3	Strichbasierte Interaktion durch den „Flow-Mechanismus“. . . . .	36
3.4	Laserpunkterkennung durch den Vergleich von Bildpunkten mit der aktuellen Laserfarbe. . . . .	44
3.5	Modellierung des Bildhintergrunds durch einen Akkumulator. . . . .	45
3.6	Der Inhalt des Akkumulators $I_{Acc}$ ergibt sich aus der gewichteten Überlagerung von Kamerabildern. . . . .	45
3.7	Erzeugen eines Differenzbildes $I_{Diff}$ aus aktuellem Kamerabild und Hintergrundbild. . . . .	46
3.8	Erzeugen der „Bewegungs-Maske“ $M$ durch Thresholding. . . . .	46
3.9	Anwendung der „Bewegungs-Maske“ $M$ auf die „Score map“ $S$ und anschließende Bestimmung der Laserpunktkoordinaten. . . . .	47
3.10	Beispiel für eine im Rahmen des WOI erfolgreich vorhergesagte Laserpunktposition. . . . .	48
3.11	Prädiktion einer Laserspür bei steigender Fortbewegungsgeschwindigkeit des Laserpunktes. . . . .	48
3.12	Rektifizierung eines perspektivisch verzerrten Bildes. . . . .	51
3.13	Gegenüberstellung eines nicht verzerrten Bildes mit einem tonnenförmig verzerrten Bild. . . . .	52
3.14	Skizzen der 12 unterstützten Zeigegesten. . . . .	53
3.15	Klassifikation von Strichgesten basierend auf der mittleren Bewegungsrichtung $G_{M\ dir}$ einer Zeigehandlung. . . . .	54

---

3.16	Informationsaustausch mit einem Control innerhalb des LPKS-Prozess.	57
3.17	Informationsaustausch mit einem Control über Prozessgrenzen hinweg.	58
3.18	Übersicht über verfügbare Mauszeiger unter Microsoft Windows. . . . .	59
3.19	Bestehende LPKS implementieren den Dwell-Mechanismus meist fest in Software. . . . .	61
3.20	Mit Hilfe eines Skript-Prozessors können in die Wirkungskette des neuen LPKS variable Interaktionsmechanismen eingebunden werden.	61
3.21	Ein Skript zum Bewegen und Ausführen von Icons auf dem Desktop.	62
3.22	Umkreisen und Verschieben von Icons auf der Basis umkreisender Zeigegesten. . . . .	63
3.23	Das neue LPKS bringt eine aus Kreisen bestehende Mausspur zum Einsatz. . . . .	64
3.24	Umrahmungen von Bedienelementen und die Mausspur werden jeweils auf ein transparentes Fenster gezeichnet . . . . .	65
4.1	Nach dem Start des LPKS wird der Karten-Reiter „Calibration“ an- gezeigt. . . . .	69
4.2	Der Button zum Starten der Bildanalyse. . . . .	70
4.3	Wiedergabe des Kamerabildes. . . . .	70
4.4	Der Button zum Anzeigen von Einstellungsmöglichkeiten. . . . .	71
4.5	Das Fenster wird um den Optionsdialog erweitert. . . . .	71
4.6	Die Optionen im Detail. . . . .	72
4.7	Einstellungsmöglichkeiten des Videoformats. . . . .	72
4.8	Einstellungsmöglichkeiten von Kameraparametern. . . . .	72
4.9	Der Dialog zur Rektifizierung der Projektionsfläche. . . . .	73
4.10	Markieren der Projektionsfläche durch Verschieben der Ecken des ro- ten Vierecks. . . . .	73
4.11	Die rektifizierte Projektionsfläche. . . . .	74

---

4.12	Automatische Kalibrierung der Schwellwerte $Th_M$ und $Th_{Score}$ . . . . .	74
4.13	Laserpunkt mit Mausspur und Window of Interest. . . . .	75
4.14	Fortschrittsanzeige zur Kalibrierung der Laserpunktfarbe. . . . .	75
4.15	Der Laserpunkt bei sehr kurzer Verschlusszeit der Kamerablende. . .	76
4.16	Die Bewegungsmaske $M$ mit Laserpunkt, darunter die Mausspur. . .	76
4.17	Der Dialog zur Anzeige der erkannten Zeigegesten. . . . .	77
4.18	Das Button zum Starten des Skripteditors. . . . .	78
4.19	Übersicht über die funktionalen Bereiche des Skripteditors. . . . .	78
4.20	Spezifizierung des zu erstellenden Statements. . . . .	79
4.21	Auswahl eines Operanden aus der Liste der zur Verfügung stehenden Variablen und Parametern. . . . .	80
4.22	Auswahl einer Operation für den Statement-Typ „If-Then-Else“. . . .	80
5.1	Screenshot der separat angefertigten Software zur Durchführung der Durchsatzanalysen nach ISO-Norm 9241-9. . . . .	83
5.2	Durchsatzanalyse von Computermaus und LPKS-Interaktionstechniken mittels „Antick-Aufgabe in einer Richtung“. . . . .	86
5.3	Analyse des effektiven Durchsatz von Computermaus und LPKS- Interaktionstechniken mittels „Antick-Aufgabe in einer Richtung“. . .	86
5.4	Durchsatzanalyse von Computermaus und LPKS-Interaktionstechniken mittels „Multidirektionale Antick-Aufgabe“. . . . .	87
5.5	Analyse des effektiven Durchsatz von Computermaus und LPKS- Interaktionstechniken mittels „Multidirektionale Antick-Aufgabe“. . .	88
5.6	Durchsatzanalyse von Computermaus und LPKS mittels Tunneltest. . .	88

# Tabellenverzeichnis

2.1	Beispiele für den Durchsatz von Eingabegeräten, die durch unterschiedliche Extremitäten gesteuert werden nach [ISO9]. . . . .	5
2.2	Ergebnisse des Balkentests nach [Brad02] . . . . .	21
3.1	Statistik zum Quelltext des neuen LPKS. . . . .	67
5.1	Parametrierung des Dwell-Mechanismus. . . . .	84
5.2	Parametrierung des modifizierten Dwell-Mechanismus. . . . .	84
5.3	Parametrierung des Flow-Mechanismus. . . . .	85
5.4	Parametrierung und resultierende Schwierigkeitsindizes der Versuchsanordnungen nach ISO-Norm 9241-9. . . . .	85
5.5	Vergleich der Durchsätze unterschiedlicher LPKS. . . . .	89
A.1	Ergebnisse der Durchsatzanalyse „Antick-Aufgabe in einer Richtung“ nach ISO-Norm 9241-9, inklusive der Geradenparameter $a$ und $b$ . . . . .	93
A.2	Ergebnisse der Durchsatzanalyse „Multidirektionale Antick-Aufgabe“ nach ISO-Norm 9241-9, inklusive der Geradenparameter $a$ und $b$ . . . . .	93
A.3	Ergebnisse der Durchsatzanalyse „Nachführen in einer Richtung“ nach ISO-Norm 9241-9, inklusive der Geradenparameter $a$ und $b$ . . . . .	93
C.1	Funktionen die vom Skriptprozessor im Rumpf eines If-Then-Else Statements ausgeführt werden können. . . . .	107



# Quelltextverzeichnis

3.1	Auslesen der Position eines Icons in einem Listview-Control . . . . .	57
B.1	Ergänzungen der OpenCV-Bibliothek: highgui.h . . . . .	95
B.2	Ergänzungen der OpenCV-Bibliothek: cvcap.cpp . . . . .	95
B.3	Entstehung der Funktion <code>iTransformCoordinates()</code> aus einem Kommentar der OpenCV-Funktion „ <code>cvWarpPerspectiveQMatrix</code> “ . . . . .	97
B.4	Erstellen der „score map“ $S$ für die anschließende Lokalisierung des Laserpunktes: <code>iLASERRECOGNITION.cpp</code> . . . . .	97
B.5	Lokalisierung des Laserpunktes in der „score map“ $S$ : <code>iLASERRECOGNITION.cpp</code> . . . . .	99
B.6	Funktionen für das Einrichten und den Zugriff auf einen gemeinsamen Prozess-Speicher: <code>iMISC.cpp</code> . . . . .	99
B.7	Kontextextraktion am Beispiel des Toolbar-Controls: <code>iWINDOWS.cpp</code>	101
B.8	Eine Funktion zum Ermitteln des Handles des aktuellen Mauszeigers: <code>iPOINTER.cpp</code> . . . . .	103
B.9	Eine Funktion zum Ersetzen der Windows-Mauszeiger mit einem transparenten Cursor: <code>iPOINTER.cpp</code> . . . . .	104

