

TUM

INSTITUT FÜR INFORMATIK

Stand und Möglichkeiten zur Anwendung von
Robotern in der Film- und Fernsehstudioteknik

A. Knoll



TUM-I0517

Juli 05

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM-INFO-07-I0517-0/1.-FI

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck auch auszugsweise verboten

©2005

Druck: Institut für Informatik der
 Technischen Universität München

Stand und Möglichkeiten zur Anwendung von Robotern in der Film- und Fernsehstudioteknik

© Fakultät für Informatik der TU München

Kontakt:

A. Knoll (knoll@cs.tum.edu)

9. Juli 2005

TUM-I0517

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Kurzüberblick heutiger Stand	4
3	Jüngste Entwicklungen	4
4	Aspekte der Sicherheitstechnik	9
5	Bewertung	10

1 Motivation

Die wahlfreie, rasche und möglichst aufwandsarme Veränderung von Kamerastandorten (Position und Orientierung) und Kameraparametern (Fokus, Zoom, Blende) ist für die professionelle Film- und Fernsehtechnik von herausragender Bedeutung. Die Beeinflussung der genannten Parameter wird heutzutage von einem Bildregisseur konzipiert und vom Kameramann während der Aufnahme realisiert.

Im folgenden betrachten wir kurz die Möglichkeiten, die gegenwärtig zur Verfügung stehen, um den Standort und den Sichtbereich der Kamera zu verändern um uns dann der Frage zuzuwenden, welchen Beitrag die Robotertechnik leisten kann, um zukünftig



- zumindest im Routinebetrieb (also im nichtkreativen Bereich) Bewegungen der Kameras vollautomatisch durchführen zu können und
- neuartige Bewegungssequenzen und -freiheiten zu ermöglichen, die Positioniergenauigkeit, Bahntreue, Beschleunigungsvermögen und Programmierbarkeit der Roboter nutzen sowie
- die Einbindung der sonstigen an der Erzeugung des endgültigen Bildes beteiligten Geräte, speziell der Generatoren für virtuelle Hintergründe zu gestatten.

Die Digitalisierung der gesamten Werkzeugkette der Fernsehproduktionstechnik hat zu einem Maß an Rationalisierung (durch Beschleunigung der Arbeitsabläufe), Reproduzierbarkeit (durch Speicherung aller Verlaufsdaten) und generellen Erhöhung des auf allen Stufen erreichbaren Qualitätsniveaus bei dramatisch gefallenen Produktionskosten geführt, wie sie noch vor 20 Jahren undenkbar schien.

Prinzipiell könnten die Aufnahmesequenzen in einem Fernsehstudio heute vollständig automatisch gefahren werden, wenn die notwendigen Aktoren (Fahrstative und Kräne für die Kameras) rechnergesteuert wären. Aufgrund der zum Teil extrem hohen Anforderungen an die Mechanik dieser Aktoren war dies bislang ausgeschlossen. Basierend auf den erheblichen Verbesserungen der Robotersteuerungstechnik in den letzten Jahren ist es nunmehr allerdings in den Bereich des Möglichen gerückt, Kameras mit Hilfe von Roboterarmen in der erforderlichen Genauigkeit in einem akzeptablen Arbeitsraum und mit passenden Geschwindigkeitsprofilen zu bewegen.

2 Kurzüberblick heutiger Stand

Gegenwärtig sind in der Fernsehstudioteknik vier Klassen von Aktoren im Einsatz:

1. *Klassische manuelle Fahrstative*: hierbei handelt es sich um Stative auf Rollen, die über (Kamera-gewichtskompensierte) Teleskop-Gelenke verfügen, mit Hilfe derer die aufgesetzte Kamera in Richtung der Hochachse des Stativs auf- und abbewegt, um die Hochachse des Stativs gedreht und außerdem geneigt (d.h. in verschiedene Anstellwinkel relativ zum Boden gebracht, oder „genickt“) werden kann. Mit Hilfe der Rollen können diese Stative auf dem Boden in beliebige Richtung verfahren werden. Es ergeben sich insgesamt also fünf Freiheitsgrade – mehr werden in der Fernsehtechnik nicht benötigt, denn eine Drehung um die optische Achse der Kamera („Rollbewegung“) wird nur in Ausnahmefällen interessant sein (siehe Abbildung 1 (a)).
2. *Elektrische Fahrstative*: die klassischen Fahrstative können zu mobilen Robotern erweitert werden, bei denen die Rollen der manuell betätigten Fahrstative durch Elektromotoren angetrieben werden. Ebenso kann die Höhenverstellung elektrisch vorgenommen werden. Wenn diese Vorrichtungen vom Rechner zu steuern sind, wird das elektrische Stativ zu einem programmierbaren Roboter mit drei Freiheitsgraden, die durch einen Schwenk-/Neigekopf noch durch zwei weitere Freiheitsgrade ergänzt werden können (siehe Abbildung 1 (b)). Diese Fahrstative werden nur selten für echte „on-air“-Fahrten eingesetzt (d.h. die Bewegung wird ausgeführt, während die Kamera aufnimmt), sondern vielmehr hauptsächlich zur raschen Veränderung des Kameraortes zwischen zwei Aufnahmestudios oder Aufnahme-Aufbauten („sets“).
3. *Elektrische Schwenk-/Neigeköpfe*: dies sind Kombinationen aus zwei elektrisch betriebenen Achsen, an denen sich die Kamera befindet. Sie können auf feststehenden Stativen, auf Fahrstativen oder auf Robotern montiert werden und von Rechnersystemen ferngesteuert werden (siehe Abbildung 2 (a)).
4. *Kamerakräne*: Zur Erzeugung schneller dynamisch wirkender Fahrten werden gelegentlich auch (manuell betriebene) Kräne eingesetzt. Diese verfügen über mehr oder weniger lange gewichtskompensierte Ausleger, die leicht manuell zu schwenken sind und dabei zum Teil auch über elektrische Positionsmeßeinrichtungen verfügen, um damit etwa Positionen an die Software zur Erzeugung virtueller Hintergründe zu liefern (siehe Abbildung 2 (b)).

3 Jüngste Entwicklungen

Unter Beteiligung des Lehrstuhls für Robotik und Eingebettete Systeme der TUM wurde Ende 2004 ein vollständig neues System zur präzisen Positionierung von Kameras entwickelt. Es basiert auf dem Einsatz eines Roboterarms, wie er in der industriellen Produktionstechnik gebräuchlich ist und von mehreren Herstellern angeboten wird (siehe Abbildung 3). Am Lehrstuhl wurde für den Einsatz im Studio die Steuerung modifiziert und eine den Ansprüchen der Fernsehsumgebung genügende Software-Bedienoberfläche programmiert.



Abbildung 1: Fahrbare Stative zur Bewegung von Studiokameras: (a) klassisches pneumatisch höhenbalanciertes Studiostativ (Fa. Shotoku), (b) Schwenk-/Neigeeinheit mit elektrischem Antrieb für Rechnersteuerung (Fa. Vinten).



Abbildung 2: Weitere Vorrichtungen zur Bewegung von Studiokameras: (a) Elektrisches Fahrstativ und Schwenk-/Neigeeinheit zur Fernsteuerung des Kameraortes (Fa. Radamec), (b) Kamerakran für schnelle Schwenks (Fa. Shotoku).

Dieses System, „RoboKam“ genannt (siehe Abbildung 4), ist die leistungsfähigste und flexibelste Lösung zur präzisen motorisierten Bewegung von Film- und TV-Studiokameras. Die erzeugten Bewegungen sind direkt „on-air“-fähig und in allen vorhandenen Freiheitsgraden programmierbar; der Roboter kann mit Schwenk-/Neigeköpfen und Linearschienen beliebig kombiniert werden. Synchron zur Kamerabewegung können eine Vielzahl von diskreten und zeitkontinuierlichen Ereignisfolgen gesteuert werden – bis hin zur Komposition von zeitlich aufeinander abgestimmten Sequenzen aus Bewegungen mehrerer RoboKams samt automatischer Kameraumschaltung.

Das Robotersystem „RoboKam“ besteht aus folgenden Komponenten:

- einem modifizierten, kalibrierten Robotersystem mit Steuerungseinheit;
- einem übergeordnetem Steuerungsrechner mit Echtzeitbetriebssystem zur Programmierung der Bewegungen und ihrer Ausführungen – dabei sind alle Gelenk- und Lineargeschwindigkeiten profilierbar;
- einem modular aufgebauten Softwarepaket zur Nutzerinteraktion, zur Laufzeitsteuerung der Roboterarme und Peripherie, zur Umweltmodellierung und Kollisionsvermeidung, u.v.m.



Abbildung 3: Typische Industrieroboter-Arme, wie sich sich prinzipiell zur Verwendung im Studio eignen. (a) Roboter KR 30 der Firma Kuka, (b) Roboter RX 130 XL der Firma Stäubli.



Abbildung 4: Das System „RoboKam“ in spezieller Konfiguration mit montierter Schwenk-Neigeeinheit (zwei Zusatzachsen). (a) Gesamtansicht, (b) Detailansicht der Schwenk-Neigeeinheit.

Es können dabei Roboterarme unterschiedlicher Typen eingesetzt werden (je nach Anforderung bezüglich Tragkraft, Geschwindigkeit, Arbeitsraum und zulässiger Geräusentwicklung), diese verfügen aber stets über genaue Präzisionssensoren, die mit höchster Zeit- und Ortsauflösung die Position und Orientierung der Kamera verzögerungsfrei messen.

Die „Motion-Control“-Software bietet ein intuitiv zu bedienendes Benutzerinterface mit der Möglichkeit zur Echtzeitdarstellung der aufgenommenen Kamerabilder. Die Anzahl der zu speichernden Kameraeinstellungen ist unbeschränkt, diese gespeicherten „shots“ können wahlfrei zur Definition des Bewegungsablaufs herangezogen werden. Für völlig freie Bewegungen im dreidimensionalen Raum kann dieser über beliebig viele „via-Punkte“ interpoliert werden; der Test auf die Kompatibilität des gewünschten Bewegungsablaufs mit den kinematischen Randbedingungen des Roboters erfolgt dabei automatisch. Die eigentliche Ablaufsteuerung erfolgt im Takt von 5 bis 15 ms, so daß eine Bildtakt-genaue Synchronisation aller Bewegungen mit den Kommandos zur Kamerasteuerung, zur Kommunikation mit weiterer Studiosoftware

(einschließlich der bereits erwähnten virtuellen Hintergründe) sowie zur Peripherie möglich ist. Diese Software ist konform zu allen relevanten Softwarestandards und fügt sich problemlos in die IT-Infrastruktur von TV-Studios ein. Ein Planungsmodul zur interaktiven Bestimmung der optimalen Standorte für die Roboterarme ist ebenfalls verfügbar.



Abbildung 5: Weitere Konfigurationen des Systems „RoboKam“. (a) Kleinere Schenk-Neigeeinheit für Kameras mit geringerem Gewicht, (b) zusätzlich montierte Linearschiene (mit Linearmotor) und darauf angebrachter kleiner Schwenk-/Neigeeinheit.

Folgende zentrale Leistungsdaten sind besonders hervorzuheben:

- Graphische, flexible Programmierungsumgebung mit umfangreichen Einstellungsmöglichkeiten für Ereignisfolgen von Roboterarmen und Peripheriegeräten
- Synchrone programmierbare und reproduzierbare Steuerung aller Kameraparameter (Focus, Zoom, etc.) in Abstimmung mit den Robotertrajektorien (deren Geschwindigkeitsparameter frei einstellbar sind)
- Parallele Steuerung von weiteren Bewegungsachsen, z.B. artikulierten Beleuchtungseinheiten bzw. Kombination mit Schwenk-Neigeköpfen und Linearschienen (auf dem Roboter oder fest montiert)
- Kombination mit virtuellen Hintergründen in Echtzeit und ohne Positionsmeßgeräte auf der Kamera
- Einfache Einbindung in übergeordnete Studio-Steuerungsrechner
- Bewegungen programmierbar über unterschiedliche Eingabegeräte (Konsolen, Joysticks, SpaceMouse/SpaceBall, ...) oder aber abgesetztem Laptop-Computer per WLAN

Darüber hinaus steht eine Vielzahl weiterer Optionen zur Verfügung:

1. Spezielle Mikrofonausrüstung von Moderator und Gästen für gute Sprachqualität bei höchster Störgeräuschunterdrückung



Abbildung 6: Ablauffolge einer typischen Szenenfolge („Eröffnungsfahrt“ einer Nachrichtensendung). Obere Reihe: Stellung des Roboterarms. Untere Reihe: Korrespondierendes Kamerabild des Sprechers. Die letzten beiden Bilder resultieren aus einem stehenden Roboter bei gleichzeitig weiterfahrendem Kamera-Zoom.

2. Teil- oder Vollkapselung des Roboterarms mit unterschiedlichen Materialien zur Minimierung des Laufgeräuschs (dies kann durch roboterinterne Maßnahmen ergänzt werden)
3. Ausrüstung des Roboterarms mit Teleprompter
4. Ausrüstung mit Doppelkamera
5. Sicherheitsausrüstung (falls bauseitig erforderlich) bestehend aus Kontaktmatten, Lichtvorhängen und Steuersoftware für graduelle Reaktion auf Schutzfeldverletzungen
6. Simulationsumgebung (3D) zur Bestimmung der optischen Aufstellpunkte für Roboterstandorte bei Erzeugung einer simulierten Sicht des zu erwartenden Kamerabildes
7. Kollisionsvermeidungs- und Bahnplanungsmodul für schwierige räumliche Verhältnisse

Es kann natürlich außerdem eine Verbindung zu unterschiedlichen Software-Spezialmodulen zur Verfolgung von Bewegungen in den aufgenommenen Bildern, zur Erzeugung von Spezialeffekten, oder beispielsweise auch zur Steuerung von Nicht-Standard-Kinematiken entwickelt werden.

4 Aspekte der Sicherheitstechnik

Der Betrieb von Robotersystemen in Räumen, in denen sich Menschen aufhalten, birgt Gefahren. Selbst wenn keine Fehlfunktion der Roboterhardware oder -software vorliegt, der Roboter also wie vorgesehen eine vorher programmierte Fahrt ausführt, kann es zu Kollisionen mit Menschen oder Objekten kommen, bei denen alle Schaden nehmen können. Es müssen deshalb Schutzmaßnahmen vorgesehen werden, um dieses auszuschließen. Dabei kann der Roboterarm nicht, wie im industriellen Umfeld üblich, mit einem Käfig aus Gitterstäben oder Metallgeflecht umgeben werden – dies ist bekanntlich die einfachste Möglichkeit, um die einschlägigen Maschinenschutzrichtlinien, etwa DIN EN 775, ISO 10218 und EU-CEE 98-37, einzuhalten.



Abbildung 7: Komponenten für Sicherheitstechnik. (a) Laser-Lichteinheit für Sicherheits-Lichtvorhang (Fa. Cedes), (b) Kontaktpuffer (Bumper, Fa. Bircher-Reglomat), (c) Kontaktmatten (Fa. Haake-Technik).

Zweckmäßigerweise wird in unserem Fall ein mehrstufiges Vorgehen gewählt:

- *Statische Kollisionsvermeidung:* Für alle im konkreten Fall programmierten Fahrten wird simuliert, ob eine Kollision mit den im Studio vorhandenen Objekten (deren aktuelle Geometrie und Lage dazu natürlich bekannt sein muß) auftreten kann. In diesem Fall wird dies dem Programmierer der Fahrt mitgeteilt oder die Ausführung der Fahrt blockiert.
- *Weiträumige Erkennung des Herannahens von Personen:* Sofern sich Menschen dem Arbeitsraum des Roboters während seines Betriebs nähern oder diesen betreten, dürfen keine Fahrten stattfinden. Eine solche Annäherung kann auf verschiedene Weise erkannt werden: durch externe Video-Kameras (z.B. an der Decke montiert) und permanente Auswertung von deren Bildern, durch weiträumig auf dem Fußboden ausgelegte Kontaktmatten, durch (Laser-)Lichtschranken, durch Kontaktpuffer („bumpers“) (siehe Abbildung 7).
- *Notfall-Sicherung:* Für den Fall, daß es trotz aller Annäherungssensorik dennoch dazu kommt, daß eine Kollision mit einem Menschen oder einem Objekt droht, kann durch Kontaktmatten oder feldgekoppelte Sensoren auf dem Roboter (bzw. auf der ihm umgebenden Einhüllung) eine letzte Sicherungsschicht realisiert werden. Ein hohes Maß an Sicherheit ist damit allein allerdings nicht zu realisieren, weil der Roboter beim plötzlichen Abbremsen ein sehr hohe Verzögerung aufbringen muß, die möglicherweise höher als die maximal spezifizierte liegt.

5 Bewertung

Nach unserer Einschätzung steht mit dem System RoboKam eine sehr interessante neue Umgebung zur Produktion von Inhalten im Fernsbereich zur Verfügung. Durch die vollständige Einbindung in sämtliche Studio-Steuersoftware ergibt sich erstmalig die Möglichkeit, programmierte Fahrten in sechs Freiheitsgraden in beliebiger Geschwindigkeit vollautomatisch in das Aufnahmegeschehen zu integrieren – und dabei auch schritthaltend die Position und Orientierung der Kamera zu kennen. Ferner wird es möglich, fortgeschrittene Verfahren der (modellbasierten, statistischen, ...) rechnergestützten Bildverarbeitung dahingehend einzusetzen, daß sie den Roboter gemäß wahlfreier Regeln einem Geschehen am Aufnahmeplatz (Studio, aber prinzipiell auch Freigelände) nachsteuern, und zwar ohne zusätzliche Sender, Energiequellen, Marker, etc. Einer Montage des Systems auf einer fahrbaren Plattform steht selbstverständlich auch nichts im Wege, wobei hier sämtliche Techniken der mobilen Robotik (Navigation, Lokalisierung, Kollisionsvermeidung, ...) vorteilhaft eingesetzt werden können.