Real Time Position Tracking

picCOLOR

Industrial and Scientific Image Processing and Analysis

F.I.B.U.S. Dr. R. H. G. Müller Beim Elbkurhaus 12 D-22587 Hamburg
Tel.: 49-40-24421280 FAX: 49-40-24421282
email: info@fibus.org WWW: http://www.fibus.org

Hinweise zur Software-Beschreibung

Diese Software-Beschreibung zum picCOLOR Bildverarbeitungssystem ist mit großer Sorgfalt geschrieben und hergestellt worden. Trotzdem kann natürlich keine Garantie für Fehlerfreiheit gegeben werden. Technische Änderungen und Verbesserungen der Software sind ohne Ankündigung vorbehalten. Änderungen der Software, die noch nicht in diese Version des Handbuches aufgenommen werden konnten, oder Abweichungen der Software vom Handbuch sind im README-File auf den Installationsdisketten aufgeführt. Bitte lesen Sie die dort gegebene Information sorgfältig. Über Anregungen und Verbesserungswünsche, die sowohl die Software als auch die Software-Beschreibung betreffen, ist der Autor jederzeit dankbar. Anregungen werden, soweit technisch und mit vertretbarem Aufwand möglich, in die nachfolgenden Versionen einfließen.

Einzelbenutzer Lizenzabkommen

Die im Software-Paket eingeschlossene Lizenzvereinbarung regelt die zulässige Benutzung von Software und dem vorliegendem Handbuch. Jede unautorisierte Vervielfältigung der Software oder des Handbuches - auch in Auszügen - ist verboten und verletzt das Lizenzabkommen.

Copyright

Diese Dokumentation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch der Übersetzung, des Nachdrucks oder der Vervielfältigung des Handbuches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Handbuches darf ohne schriftliche Genehmigung vom Author - Dr. Reinert H. G. Müller - in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.
Copyright @ 1992-2010 Dr. Reinert H. G. Müller.

Garantie- und Haftungsausschluß

Das picCOLOR Programm und die hier vorliegende Programmbeschreibung sind nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet worden. Dennoch sind Fehler nicht völlig auszuschließen. Insbesondere kann nicht garantiert werden, daß die Funktion des picCOLOR Programmes in allen Punkten exakt mit der Beschreibung in diesem Handbuch übereinstimmt. Im Handbuch sind einige Funktionen beschrieben, die im Programm nicht oder noch nicht aufgenommen sind. Die Anwendung des Programmes und der daraus erhaltenen Ergebnisse und Daten unterliegt allein der Verantwortung des Benutzers. Autor und Vertriebspartner können keine Garantie, keine juristische Verantwortung und keine Haftung für Folgen übernehmen, die auf fehlerhafte Angaben im Programm picCOLOR oder im Handbuch zurückzuführen sind.
THE PICCOLOR PROGRAM IS NOT FAULT TOLERANT AND IS NOT DESIGNED, MANUFACTURED, OR INTENDED FOR USE OR RESALE AS ONLINE CONTROL EQUIPMENT IN HAZARDOUS ENVIRONMENTS REQUIRING FAIL-SAFE PERFORMANCE, SUCH AS IN THE OPERATION OF NUCLEAR FACILITIES, AIRCRAFT NAVIGATION OR COMMUNICATION SYSTEMS, AIR TRAFFIC CONTROL, DIRECT LIFE SUPPORT MACHINES, OR WEAPONS SYSTEMS, IN WHICH THE FAILURE COULD LEAD DIRECTLY TO DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PHYSICAL OR ENVIRONMENTAL DAMAGE.

Geschützte Bezeichnungen

Alle im Handbuch benutzten Bezeichnungen, die als Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen bekannt sind, sind im folgenden aufgelistet. Die Vollständigkeit dieser Liste kann jedoch nicht garantiert werden. Die Benutzung eines hier nicht erfaßten Warenzeichens darf nicht als Mißachtung der Gültigkeit dieses Warenzeichens angesehen werden.
Texas Instruments ist eingetragenes Warenzeichen der Texas Instruments Corporation. IBM, Personal Computer-AT, PC/AT sind eingetragene Warenzeichen und PC-DOS, VGA sind Warenzeichen von International Business Machines Corporation. Microsoft ist eingetragenes Warenzeichen und Windows, WINDOWS NT, Internet Explorer und MS-DOS sind Warenzeichen der Microsoft Corporation. Adobe ist Warenzeichen der Adobe Corporation. Netscape ist eingetragenes Warenzeichen der Netscape Corporation. HP und PCL sind eingetragene Warenzeichen der Hewlett Packard Company.

Inhalt

Real-Time Position Tracking 2D/3D 5
Einleitung 5
Real Time Sequence Frame Grabbing 6
Real Time Image Processing 6
Event Trigger and Synchronisation 6

2D-Positionsmessung 7
Vorbereitung zur Positionsbestimmung 7
Parametereinstellung für die Positionsbestimmung 8
Marker Definition 13
Params/Adapt: Check Parameters And Adapt Threshold And Size 15
Edit Marker 16
Real Time Tracking 16
Post Processing 17
Fehlerbedingung (Error Code) 17

3D-Rekonstruktion 19
Grundlagen 19
Drehungsmodell 21
Initialisierung der 3D-Rekonstruktion 21
Verfahren A: Kamerapositionen und -blickwinkel sind bekannt 22
Verfahren B: Eingabe von 6 Referenzpunkten mit 12 Markerpositionen 23
Verfahren C: Eingabe von mehr als 6 Referenzpunkten (Gauss-Approximation) 24
Kalibrierung mit Kalibrierkörper (6 oder mehr als 6 bekannte Referenzpunkte) 24
Iteration der Kalibrierung 25
Objektverfolgung mit 3 Markern 25
Neu-Initialisierung der Objektposition (Reset) 27
Objekteinstellung auf Referenzposition 27
Ausgabetyp: 3D-Punkte / Objekt-Position (Yaw/Pitch/Roll, Euler-Winkel) 28
Graphische Testfunktionen zur Überprüfung der Transformationsmatrizen 28
Plot Reference Points, Plot Result Points, Transfer Marker Images / 3D-Reconstruction

Anhang 31
Suchkriterien für Marker 31
Stereo- oder Split-Screen-Bildübernahme 32
TSAI-Kamerakalibrierung 33
Event Trigger 34
Synchronisation 36
Time Stamp (Zeitstempel) 38
DDE Dynamic Data Exchange 39
Data Exchange per TCP/IP 41
Fehlermeldungen des picCOLOR-Programmes 42
References 45
Beispiele Für MACRO-Programme 46
MACRO-Funktionen 48

Real-Time Position Tracking 2D/3D

Einleitung

Z. Zt. sind Echtzeit-Modul (Real-Time) und 3D-Positionsbestimmungsmodul (2D/3D-Position Tracking) im Real-Time-Position-Tracking-Modul kombiniert. Je nach Entwicklungsrichtung werden beide Module in Zukunft auch getrennt erhältlich sein.

Die Hauptfunktionen dieses Modules sind Funktionen zur Positionsbestimmung, die entweder in Echtzeit (bis maximal zur jeweiligen Video-Echtzeit der jeweils eingesetzten Kamera) oder auch mit zuvor geladenen Einzelbildern oder eingelesenen Videosequenzen arbeiten können. Hierzu erst einmal ein paar Worte zu dem Begriff "Echtzeit": "Echtzeit" ist ein häufig benutzes Schlagwort beim Einsatz moderner schneller Rechner. Was bedeutet eine "Echtzeit"-Berechnung? Bedeutet es, eine Berechnung besonders schnell durchzuführen, oder besonders schnelle Vorgänge zu analysieren? Nein: Echtzeit bedeutet grundsätzlich, einen Vorgang in genau der Geschwindigkeit auszuwerten oder zu analysieren, in der er tatsächlich stattfindet und damit die Möglichkeit zu haben, regelnd auf diesen Vorgang einwirken zu können. Das kann sehr schnell, aber auch beliebig langsam sein. Dazu muß man sich vor Augen halten, daß ein Vorgang, z. B. ein Bewegungsablauf, mit der Kamera in einem bestimmten Zeitraster abgetastet wird. Zur Auswahl dieses Zeitrasters (oder der Aufnahmefrequenz der Kamera) muß also grundsätzlich untersucht und festgelegt werden, wie schnell ein Vorgang abläuft und ausgewertet werden muß. Anders ausgedrückt muß geklärt werden, mit welcher Frequenz ein Vorgang abgetastet werden muß, um ihn noch sinnvoll auswerten zu können und die erforderlichen Reaktionen, z. B. Regelkreise oder Filter darauf anwenden zu können. Eine oft verwendete Definition ist z. B. die Video-Echtzeit. Wenn wir hier erst einmal spezielle Hochgeschwindigkeitskameras außer acht lassen, so können wir annehmen, daß Video-Frequenzen 25 oder 30 Bilder pro Sekunde aufweisen, je nach angewandtem System (CCIR oder EIA). Wenn ein Vorgang zeitlich in Video-Echtzeit von der Kamera nicht mehr aufgelöst werden kann, so haben wir natürlich auch keine Chance, diesen mit dem Rechner/Video-System zu analysieren. Dagegen kann es auch oft sein, daß ein nicht ganz so schnell ablaufender Vorgang mit z. B. nur halber Videofrequenz oder noch langsamer aufgelöst und analysiert werden kann. Auch dann ist dies immer noch eine Echtzeit-Bildverarbeitung. In der Regel erfordern Echtzeitberechnungen jedoch immer eine recht hohe Rechenleistung und eine optimale Programmierung und genaue Anpassung an die entsprechende Aufgabe. Ein Verschenken von Rechenleistung mit zusätzlichen, unnötigen Berechnungen ist nicht mehr möglich. Aus diesem Grund gibt es im "Real-Time"-Zusatzmodul nur recht wenige Funktionen - alle Funktionen werden speziell für bestimmte Aufgaben programmiert und optimiert und normalerweise nicht im allgemeinen picCOLOR-Programm aufgeführt. Bitte wenden Sie sich daher bei speziellen Problemstellungen an das picCOLOR-Entwicklungsteam.

Echtzeitfunktionen werden in der Regel normal auf dem PC ablaufen, d. h. also z. Zt. mit einem x86-kompatiblen Prozessor hoher Taktrate. Für die meisten Echtzeitanwendungen wird dies ausreichend sein, besonders wenn die Echtzeitfunktionen speziell für ihre Aufgabe angepasst und optimiert sind. Im Notfall kann man ja auf eine höhere Taktrate oder schnelleren Hauptspeicher oder schnellere Festplatten ausweichen. Zusätzlich sind je nach Einsatz bestimmter Frame Grabber Karten noch spezialisierte Echtzeit-Hardware-Module erhältlich. Diese sind z. B. mit digitalen Signalprozessoren (DSP) oder FPGAs ausgerüstet, die auch recht komplexe Aufgaben übernehmen können. Während auf der älteren F64P-Karte der bekannte, jedoch schon etwas veraltete TI 320C40 eingesetzt ist, können auf den Euresys-Frame-Grabber-Karten bis zu zwei der leistungsfähigen TI 320C6201 DSPs mit einem Durchsatz von bis zu 3200MIPS eingesetzt werden. Für die DALSA/CORECO X64- und Xcelera-Kartenserie gibt es ebenfalls spezielle Echtzeit-Module, während bei der MicroEnable-Karte sowieso schon der Xilinx-FPGA-Prozessor für die Bildübernahme eingesetzt ist, der auch für andere Echtzeitaufgaben programmiert werden kann. Für diese letzteren Systeme werden von den Frame Grabber Herstellern oft schon vorgefertigte Lösungen angeboten, indem z. B. spezielle Filter oder Hintergrundkorrekturmethoden fest einprogrammiert sind. Diese Funktionen lassen sich unter bestimmten Bedingungen für eine spezielle Aufgabe einsetzen und anpassen. Im Bedarfsfall sollte man die vorhandenen Möglichkeiten mit dem picCOLOR-Entwicklungsteam absprechen.

Einige Funktionen, die allgemein Interesse finden und in vielen Anwendugen hilfreich sein können, sind im Echtzeit-Zusatzmodul oder auch im Zusammenhang mit dem 3D/Sequenz-Zusatzmodul standardmäßig enthalten und sind hier kurz beschrieben: dies ist das Einlesen von Bildsequenzen in Videoechtzeit (im 3D/Sequenz-Zusatzmodul), die schnelle Bestimmung von bewegten Kanten im Videobild (500 Hz und schneller bei spezieller Kamera) und die Echtzeit-Positionsbestimmung von bewegten Objekten im 2D und 3D-Raum.

Real Time Sequence Frame Grabbing

Echtzeit-Bildsequenzen können mit der Mehrzahl der an das picCOLOR-Programm angepaßten Frame Grabber Karten eingelesen werden. Hierzu gehört die CORECO F64P-Karte, die DALSA/CORECO VIPER-, X64- und Xcelera-Kartenserie, die National Instruments Grabber, die MicroEnable-Karten von Silicon Software, die verschiedenen Falcon- oder Eagle-Karten von IDS, die Euresys-Kartenserie und auch z. B. alle auf FireWire basierenden Kameras. Die Aufnahmedauer der möglichen Videosequenzen hängt vom eingesetzen Speicher im PC oder auch vom Festplattensystem ab. Es können auch Stereo-Bildsequenzen mehrerer Kameras oder auch gleichzeitig Teilbilder von mehreren Kameras aufgenommen werden, wenn die Hardware dies unterstützt. Diese Funktionen befinden sich im 3D/Sequenz-Modul, wo man auch eine genauere Beschreibung findet. Eine direkte Abspeicherung der Videosequenzen auf die Festplatte wird ebenfalls unterstützt. Hierbei können natürlich je nach Art der Kameras extrem hohe Anforderungen anfallen, z. B. bei der Stereoaufnahme mit zwei Hochgeschwindigkeitskameras bis zu 2000MByte/s. Mit einzelnen SATA-Platten erreicht man z. Zt. sichere 70 MB/s Schreibgeschwindigkeit, mit SCSI etwas mehr. Immerhin erreicht man z. Zt. schon mit relativ einfachen RAID0-Systemen Datenraten von 100MB/s und mehr. Da bei etwa 100MB/s der normale PCI-Bus ausgelastet ist, wird man auf den auf Workstation- oder Server-Motherboards verfügbaren PCI-X-Bus ausweichen, der mit 64Bit und 66MHz oder sogar 133MHz einen theoretischen Durchsatz von bis zu 1000MB/s hat, oder auf den PCI-Express-Bus, der schon mit 4 "lanes" auch bis zu 1000MB/s schafft, mit 8 lanes sogar bis zu 2000MB/s. Frame Grabber und RAID-Karten hierfür sind erhältlich, und Tests mit einer PCIe-x8-Karte von Areca und 8 schnellen SATA-Platten im RAID0-Verbund zeigten sichere Schreibgeschwindigkeiten von beinahe 300MB/s! Wenn noch höhere Schreibgeschwindigkeiten notwendig sind, könnte man den RAID0-Verband auf 16 Platten erweitern oder auf SCSI- oder SAS-Platten übergehen. Außerden sind neueste SSD-Festplatten z. B. von Fusion-I/O erhältlich, die am PCIe-Bus sogar 1500MB/s speichern können.

Real Time Image Processing

Verschiedene Funktionen zur Echtzeitbildverarbeitung sind möglich. Da diese Funktionen aus Geschwindigkeitsgründen immer projektspezifisch angepaßt und optimiert sind, können hier allerdings kaum allgemeine Funktionen implementiert werden. Getestetes Beispiel ist etwa das Bestimmen des Minimums einer Videozeile oder einer Grauwertkante in Echtzeit. Dieses Problem stellt sich z. B. beim Bestimmen der Position einer kontinuierlichen Substanz auf einem schnell bewegten Fließband. Mit einer speziellen Kamera, der leider nicht mehr verfügbaren KAPPA CF 100, konnten hier seinerzeit Hochgeschwindigkeitsauswertungen bei bis zu 500 Hz durchgeführt werden. Als relativ einfache Kameras eignen sich für Hochgeschwindigkeitsmessungen z. B.die JAI CV-M30 als analoge Kamera bis 360 Hz oder die Pulnix TM6710 als digitale Kamera mit bis zu 350 Hz. Höhere Geschwindigkeiten bis z. B. 5000Hz und mehr werden mit modernen "Global Shutter"-CMOS-Kameras erzielt, indem nur kleine Teilbildausschnitte ausgelesen werden. Schnelle CMOS-Kameras haben allerdings in der Regel eine etwas schlechtere Bildqualität. Dies wird sich allerdings mit dem Erscheinen der Kameras nach dem sCMOS-Prinzip (siehe PCO GmbH) ändern. Bei einigen älteren Hochgeschwindigkeits-CMOS-Kameras, die nicht das "Global Shutter"-Verhalten zeigen, muß dabei auch eine mögliche Verzerrung des Bildinhaltes durch das zeitlich verschobene pixelweise Abtasten des CMOS-Chips von oben nach unten berücksichtigt werden, falls nicht mit einem Blitz oder Stroboskop belichetet werden kann. Noch höhere Geschwindigkeiten, z. B. bis 500kHz, sind mit Zeilenkameras möglich. Aufnahmen sind sogar bis in den MHz-Bereich möglich, allerdings können solche Datenmengen nicht mehr auf den PC übertragen werden und können daher nur noch im Post-Processing ausgewertet werden. Die Ergebnisse, d. h. im obigen Beispiel die bestimmte Position der Substanz auf dem Fließband, kann kontinuierlich auf Festplatte oder auf eine beliebige Rechnerschnittstelle (software oder hardware) ausgegeben werden. Das hier im Handbuch beschriebene 2D/3D-Objekt-Tracking ist eine typische Aufgabe der Echtzeitbildverarbeitung. Weitere Methoden und Verfahren können auf Wunsch implementiert werden.

Event Trigger / Synchronization

Bei einer Echtzeitmessung ist es nicht nur wichtig, mit einer bestimmten Geschwindigkeit zu messen, sondern auch, die Messung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beginnen und zu beenden. Hierzu stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, teilweise abhängig von der eingesetzten Hardware.

Der einfachste Fall ist die Triggerung über eine Benutzereingabe, etwa einen Druck auf die linke Maustaste oder auf die RETURN-Taste. Oft wird man über ein Signal auf einer digitalen Input-Leitung triggern. Man kann den Start einer Messung jedoch auch softwaremäßig durch ein anderes Programm steuern, z. B. über die DDE-Schnittstelle, oder sogar extrem flexibel gesteuert durch den aktuellen Bildinhalt. So kann z. B. definiert werden, daß die Messung beginnt, wenn an einer bestimmten Stelle im Bild eine kleine Lampe aufleuchtet. Die Triggermöglichkeiten sind im Anhang im Kapitel "Event Trigger" genauer beschrieben.

Weiterhin kann es notwendig sein, die exakte Zeit vom Start und Ende der Bildintegration zu kennen oder zu definieren. Dabei wird die Kamera mit anderen, parallel ausgeführten Messungen synchronisiert. Die vorhandenen Möglichkeiten werden im Anhang im Kapitel "Synchronisation" diskutiert.

2D-Positionsmessung

Eine sehr wichtige Aufgabe der Echtzeitbildverarbeitung ist die Suche und Verfolgung von Objekten im Videobild. Hierbei wird die Lage von bestimmten Objekten in x- und y-Koordinaten des Bildes bestimmt und ausgegeben. Mit einer schnellen Version der Konturverfolgung können mehrere Objekte oder Marker im Bild unabhängig voneinander verfolgt werden. Wenn zwei Kameras eingesetzt werden, kann auch eine 3-dimensionale Auswertung der Objektlage durchgeführt werden. Je nach eingesetzter Hardware, Anzahl und Größe der Objekte und ihrer Bewegungsgeschwindigkeit können problemlos Auswertegeschwindigkeiten bis hin zu Video-Echtzeit erzielt werden. Mit Hochgeschwindigkeitskameras, z. B. der Mikrotron MC1310, kann z. B. ohne weiteres mit 1000 Hz Bildfolgefrequenz gemessen werden. Zur Positionsbestimmung und Einstellung aller notwendigen Parameter ist das "2D/3D Tracking"-Menü unter dem "Measurement"-Menü erreichbar. Nach dem ersten Aufruf der 2D-Marker-Parameter-Dialogbox erscheint zusätzlich eine Tool-Box mit den wichtigsten Funktionen dieses Menüs auf dem Bildschirm, so daß man sich nicht immer durch den Menü-Baum hindurchquälen muß. Das Menü "2D/3D Tracking" hat folgende Funktionen (rechts daneben ist die Tool-Box dargestellt):

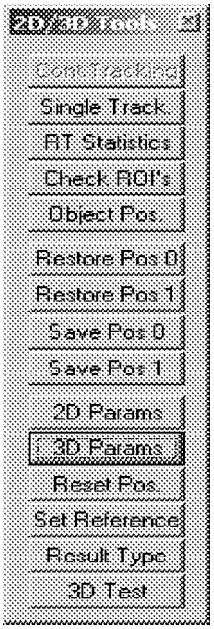
2D/3D Tracking

Continuous Tracking (Cam)
Single Tracking (Buffer)
Check Statistics
Check Search ROI's
Show Object Position

Save Marker Pos. 0
Save Marker Pos. 1

Restore Marker Pos. 0
Restore Marker Pos. 1

2D Marker Parameters
  Edit 2D-Marker Position
3D Parameters
  [3D Alternative Input]
New 3D-Position (Reset)
3D Object Reference
3D Result Type
3D Setup Test



In der Tool-Box fehlen nur die Funktionen zum Editieren von Markern und zum alternativen 3D-Input. Bevor eine Markerverfolgung oder eine Positionsbestimmung erfolgen kann, müssen verschiedene Parameter gesetzt werden und die zu verfolgenden Marker oder Objekte definiert werden.

Vorbereitung zur Positionsbestimmung

Im folgenden werden die Grundfunktionen zur Objekt-Verfolgung dargestellt. Dabei sind alle Einstellungen unabhängig davon, ob später eine Echtzeitpositionsbestimmung oder eine nachträgliche Auswertung von Einzelbildern durchgeführt werden soll. Zur nachträglichen Auswertung aufgenommener Videosequenzen sollte ein spezielles MACRO-Programm geschrieben werden, das die Einzelbilder der Sequenz automatisch im Sequenzspeicher auswertet. Auf Wunsch kann hier Hilfestellung geleistet werden, indem funktionierende Beispiel-MACRO-Programme geliefert werden, die lediglich an die eigenen Randbedingungen angepaßt werden müssen. Ein einfaches Beispiel ist im Anhang gegeben. Die Hauptfunktion "Tracking" startet die Suche nach Markern oder Objekten. Sie kann in zwei Versionen aufgerufen werden, der "Continuous Tracking" und der "Single Tracking"-Funktion. Die "Continuous Tracking"-Funktion startet die Bildübernahme und läuft nach einer Start-Triggerung prinzipiell endlos mit aktuell eingelesenen Kamerabildern mit aktueller Kamerafrequenz ab, wenn sie nicht durch eine End-Triggerung oder Ende-Bedingung abgebrochen wird. Die "Single Tracking"-Funktion läuft nur ein einziges Mal mit den im aktiven Arbeitsspeicher oder in den Stereo-Bildspeichern vorhandenen aktuellen Bildern ab. Wenn zwar in Echtzeit gemessen werden soll, aber nicht die maximale Geschwindigkeit der eingesetzten Kamera verwendet werden soll, so wäre die einfachste Möglichkeit, die Kamera mit einem speziellen Triggersignal hardwaremäßig auf die gewünschte Geschwindigkeit zu reduzieren. Bei sehr langsamen Auswertungen kann man allerdings auch ein MACRO-Programm schreiben, das abhängig von externen Triggersignalen oder auch von internen Timer-Einstellungen Einzelbilder aufnimmt und diese auswertet und die Ergebnisse weiterleitet.

Bei der Auswertung wird der Flächenschwerpunkt der gefundenen Marker subpixelgenau bestimmt. Für eine sinnvolle Subpixelauflösung sollten die Marker eine vernünftige (was auch immer das bedeutet...) geschlossene Form

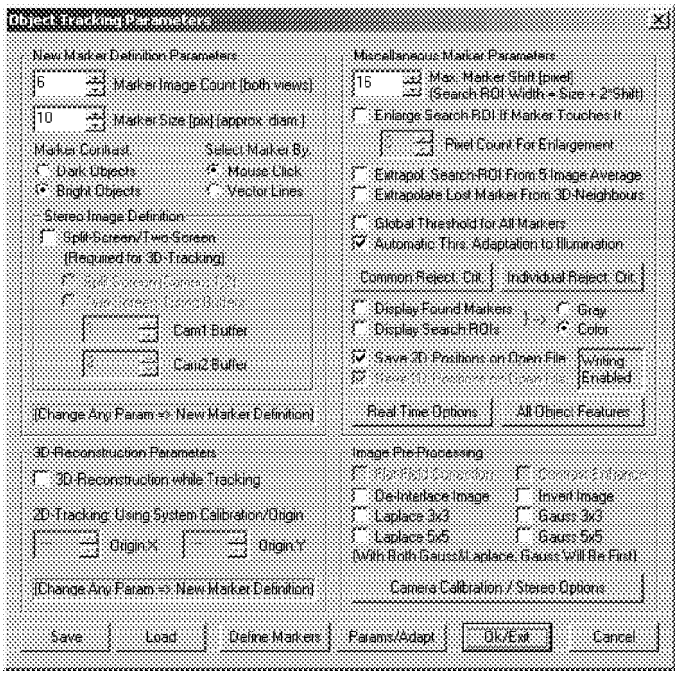
und eine Mindestgröße von etwa 5-6 Pixeln Durchmesser aufweisen. Bei einem Markerdurchmesser von etwa 10 Pixeln erhält man die optimale Subpixelauflösung von besser als 1/10 Pixel. Sehr viel mehr Auflösung als etwa 1/20 Pixel ist aus unterschiedlichen Gründen kaum möglich. Zu große oder zu viele Marker verlangsamen jedoch die Suche, so daß unter Umständen dann nicht mehr in Echtzeit ausgewertet werden kann. Hier müssen also Geschwindigkeit und Subpixelauflösung gegeneinander abgewogen werden. Vor der Einstellung der Markerparameter müssen folgende Einstellungen vorgenommen werden:

- Kalibrieren Sie das System im Calibration-Menü in der gewünschten Einheit [pixel/Unit], falls eine 2D-Markerverfolgung durchgeführt werden soll. Wenn eine 3D-Rekonstruktion mit zwei Kameras vorgenommen werden soll, wird die Kalibrierung der beiden Kameras in der 3D-Camera-Position-Dialogbox vorgenommen, da hier in der Regel unterschiedliche Kalibrationsfaktoren für beide Kameras benutzt werden müssen. Eine sinnvolle Einheit, z. B. ‘‘mm’’ oder ‘‘m’’, kann und sollte jedoch auch bei 3D-Auswertungen im "Calibration"-Menü gewählt werden. Eine zusätzliche 2D-Systemkalibrierung [pixel/unit], die im Calibration-Menü eingestellt ist, wird bei der 3D-Auswertung nicht beachtet, stört jedoch auch nicht.
- Akquirieren Sie Referenzbild (-bilder bei Stereo) mit Markerpositionen in Null- oder Referenz-Stellung auf den Bildschirm oder bei zwei Bildern in die hierfür vorgesehenen Stereo-Bildspeicher. Das Einlesen der Referenzbilder geschieht mit den üblichen Akquisitionsfunktionen aus dem "Acquire"-Menü und ist im Haupthandbuch erklärt. Zur Bildübernahme von Stereo-Bildern oder von Split-Screen-Bildern mit zwei Kameras sind einige Erklärungen auch hier im Anhang gegeben.
- Messen Sie den ungefähren Durchmesser (auf etwa 20% genau) der Marker mit dem Mauszeiger. Alle Marker sollten in etwa den gleichen Durchmesser aufweisen. Eine Größenvariation von 100% ist hier erlaubt, aber für sehr genaue Messungen nicht unbedingt anzuraten. Im Zweifelsfall geben Sie den Durchmesser der größeren Marker an, für wesentlich kleinere Marker wird programmintern automatisch eine Korrektur bestimmt.

Sinnvolle Markerformen sind z. B. kompakte geometrische Firguren, etwa Kreise oder Rechtecke. Aber auch andere Formen können sinnvoll sein, wenn z. B. bestimmte Zurückweisungskriterien benutzt werden müssen, um falsche Objekte von der Suche auszuschließen (siehe Anhang). Falls die Marker sich in beliebiger Art drehen oder neigen können, sind Formen zu bevorzugen, bei denen sich der Flächenschwerpunkt nicht ändert (z. B. Kreisflächen). Marker können entweder helle Objekte auf dunklem Grund oder dunkle Objekte auf hellem Grund sein (während einer Messung jedoch z. Zt. noch nicht beide Arten gleichzeitig). Der Kontrast zwischen Marker und Hintergrund sollte nicht zu gering sein. Die Beleuchtung sollte möglichst konstant sein und nicht zu Reflektionen führen. Als besonders interessant haben sich hierzu UV-Beleuchtungen erwiesen, die zusammen mit UV-Markierungsfarben, die das UV-Licht in den sichtbaren Bereich transformieren, zu perfektem Kontrast ohne irgendwelche Reflektionen geführt haben.

Parametereinstellung für die Positionsbestimmung

Zur Einstellung der Parameter für die Markersuche und zur Definition der Marker öffnen Sie die ‘‘2D-Marker Parameter’’-Dialogbox und stellen dort die folgenden Parameter ein:



- **Marker Image Count (Both Views)**: Geben Sie die Anzahl der Marker an (bei Stereoauswertungen die Anzahl in beiden Ansichten, z. B. 12 Marker bei 6 Raumpunkten in je zwei Kamera-Stereo-Teilbildern).

- **Marker Size**: Setzen Sie den ungefähren Durchmesser der Marker in Pixeldurchmessern, +-20%. Wenn der tatsächliche Markerdurchmesser deutlich kleiner oder größer ist, so stellt dies in der Regel kein Problem dar, da das picCOLOR-Programm automatisch die Größe bestimmt und anhand dieser dann sinnvolle Grauwertparameter bestimmt. Wenn jedoch die eingegebene Größe um mehr als 50% von der tatsächlichen Größe abweicht, kann es dazu kommen, daß die Marker nicht mehr gefunden werden. Aus dieser Tatsache ergibt sich, daß die Größe aller Marker in der gleichen Größenordnung liegen soll. Im Zweifelsfall sollte eher die obere Grenze angegeben werden.

- **Dark/Bright Objects**: Teilen Sie dem System mit, ob es sich um dunkle Marker auf hellem Hintergrund oder um helle Marker auf dunklem Hintergrund handelt.

- **Select Marker by MouseClick/Vectors**: Wählen Sie die Eingabemethode der Marker in den 2D-Kamera-Bildern. Die normale Methode ist die Eingabe über MouseClicks etwa in die Marker-Mitte. Wenn allerdings viele Marker auf geraden Linien liegen, z. B. auf Vorder- und Hinterkante eines Flugzeugflügels, kann die Eingabe über die Wahl mit Vektorzügen wesentlich schneller sein.

- **Split-Screen/Two-Screen**: Teilen Sie dem System mit, ob es sich um eine 2D-Auswertung mit einem einzigen Bild handelt oder um eine Zwei-Kamera- oder Stereo-Auswertung mit entweder zwei Vollbildern in getrennten Stereo-Bildspeichern oder zwei Teilbildern auf dem aktuell dargestellten Bildspeicher (Two/Split-Screen). Bei zwei getrennten Vollbildern werden die Stereo-Bildspeicher (Cam1-Buffer, Cam2-Buffer) angegeben. Diese dürfen natürlich nicht ein- und derselbe Bildspeicher sein. Wenn eine Echtzeit-Verfolgung mit zwei Kameras geplant ist und der Frame Grabber mehr als zwei Kameraeingänge besitzt, so prüfen Sie, ob die richtigen Kamera-Eingänge eingestellt sind. Sie werden in der ‘‘Split-Screen Acquisition’’ oder ‘‘Stereo Acquisition’’ Dialogbox eingestellt und müssen nicht den Stereo-Bildspeichern entsprechen.

- **Maximum Marker Shift**: Um nicht immer das komplette Bild nach den Markern absuchen zu müssen und um eine einfachere Zuordnung der Marker zu erreichen und damit die Auswertegeschwindigkeit beträchtlich zu erhöhen, werden kleine Suchfenster (Regions of Interest = ROIs) eingesetzt, in denen die Marker gesucht werden. Die Position der Marker darf sich nun nicht von einem Bild zum zeitlich nachfolgenden Bild aus diesem Suchfenster herausbewegen, sonst kann der jeweilige Marker nicht mehr gefunden werden. Setzen Sie hier die maximale Pixel-Verschiebung der Marker von einem Bild zum zeitlich folgenden Bild ein (in Pixeldurchmessern) und damit indirekt die Suchfenstergröße (Markersize+2*MaxShift). Über eine Sequenz von mehreren Bildern können sich die Marker natürlich auch sehr weit von den Orten im Referenzbild wegbewegen, da die Such-Fenster immer mitgeführt werden.

- **Enlarge Search ROI If Marker Touches It**: Wenn sich ein Marker von einer Bildaufnahme zur nächsten zu schnell bewegt, wird er im folgenden Bild über den Rand der Such-ROI hinausgewandert sein oder zumindest die Umrandung der Such-ROI berühren. In diesem Fall wird in der Regel eine Fehlermeldung ausgegeben, hier z. B. der Error-Code 4 (Marker Touching ROI). Natürlich ist in diesem Fall die in der Regel beste Abhilfe eine Vergrößerung der Such-ROI, die über eine größere "Maximum Marker Shift"-Eingabe erreicht werden kann. Dies kann jedoch unvorteilhaft sein, wenn einige Marker im Bild sehr nah aneinander liegen und dadurch zwei Marker in einer ROI zu liegen kommen könnten und dann nicht mehr differenziert werden können. Mit dieser neu eingeführten Option wird dann versucht, die entsprechende Such-ROI lokal um einige Pixel (einstellbar) zu vergrößern, in der Hoffnung, den zugehörigen Marker doch noch zuverlässig zu finden, ohne daß nah liegende Nachbarmarker versehentlich gefunden werden. Diese Funktion hat sich als interessant in Zusammenhang mit der Extrapolation aus den letzten 5 Bildern herausgestellt. Dabei wird dann eine möglichst kleine Such-ROI schon vor der Suche an möglichst genau die richtige Stelle geschoben und nur, wenn dann nichts gefunden wurde, weil der Marker die ROI berührt, wird diese dann etwas vergrößert. Der Enlargement Count wird in der Regel nur wenige Pixel betragen.

- **Marker/ROI Extrapolation (Average of 5 Images)**: Bei eingeschalteter "Marker Extrapolation" wird das Suchfenster, d. h. die ROI, vor der Markersuche um den mittleren Betrag und die Richtung der 5 letzten Auswertungen (Bilder) weitergeschoben. Wenn aus bestimmten Gründen (Verdeckung, Lichtreflexe) ein Marker nicht gefunden wurde, so wird hierdurch die zugehörige ROI immerhin ungefähr die richtige Position haben. Wenn der Marker sich relativ stationär weiterbewegt, ist eine Chance gegeben, daß er im folgenden oder in einem weiteren Bild wieder gefunden wird. Bei sehr stark ungleichförmig bewegten Markern sollte diese Funktion abgeschaltet sein. Diese Funktion kann auch für Einzelbildauswertungen genutzt werden: die

Mittelwerte der Richtung und Geschwindigkeit werden nach dem Einzelbild-Tracking nicht verworfen. Wenn also für eine neue Auswertung diese Mittelwerte auf Null gesetzt werden sollten, so muß man dazu explizit dieses Flag abschalten und dann eventuell, wenn erforderlich, nach dem ersten neuen Tracken wieder einschalten.

- **Extrapolate Lost Marker (From 3D-Neighbours)**: Mit dieser neuen Funktion können nicht sichtbare, verdeckte Marker anhand der nächsten Nachbarn rekonstruiert werden. Dies ist allerdings nur für eine tatsächliche 3-dimensionale Auswertung möglich. Wenn diese Option eingeschaltet ist, wird picCOLOR bei Verdeckung eines Markers aus der korrekten letzten Position dieses Markers ein Set von 3D-Vektoren bestimmen, mit denen dieser Marker aus den nächsten Nachbarmarkern 3-dimensional rekonstruiert werden kann. Nach einer zusätzlichen Rekonstruktion der 2D-Orte der Marker in den beiden Stereo-Bildern werden dann auch die wahrscheinlichen ROI-Positionen neu bestimmt. Wenn der verdeckte Marker dann irgendwann irgendwo wieder auftaucht, wird er sofort wieder automatisch gefunden und bestimmt. Ein auf diese Art rekonstruierter Marker wird durch den ErrorCode 2 angedeutet. (Es kann nur eine der beiden Marker-Extrapolationsroutinen aktiv sein). Achtung: für neue und noch nie gefundene Marker (z. B. nach einem Editieren der Markerposition) wird beim Tracken nur die Erkennungsfunktion angewand, um diesen neuen Marker zu finden, jedoch nicht die Extrapolationsfunktion.

- **Global Threshold for All Markers:** Normalerweise wird für jeden der Marker ein eigener Grauwertschwellwert bestimmt. Mit dem "Global Threshold"-Schalter kann diese Eigenschaft abgeschaltet werden. In diesem Fall wird dann die globale Grauwertschwelle zur Markersuche benutzt, die in der Objektsuche (hier der Taster "ObjectFeatures" oder im Menü: Measurement/Geometry/Objects) eingestellt werden kann. Dies ist in der Regel nur bei perfekten Lichtverhältnissen sinnvoll, z. B. unter Laborbedingungen. Bewährt hat sich diese Möglichkeit allerdings zur Suche von Markern in Laplace-gefilterten Bildern, bei denen der Null-Wert auf dem Grauwert 128 liegt und Marker entweder darüber oder darunter liegen.

- **Automatic Adaptation to Illumination**: Bei normaler Arbeitsweise wird der bei der Markerdefinition gefundene optimale Grauwertschwellwert für alle nachfolgenden Bilder zur Markerbestimmung benutzt. Wenn sich nun die Lichtverhältnisse stark ändern und der Marker und sein Hintergrund z. B. deutlich heller werden, dann kann er nicht mehr mit der alten Grauwertschwelle gefunden werden. Nach Einschalten dieser Option wird nach jeder Markerbestimmung sein Grauwert und der Grauwert des Hintergrundes bestimmt und ein sinnvoller neuer Schwellwert bestimmt. Hiermit kann auch bei sich extrem stark ändernden Lichtverhältnissen kontinuierlich gemessen werden. Die Helligkeitsschwankungen dürfen lediglich nicht so groß und schnell sein, daß von einem Bild zum nächsten keine Erkennung mehr möglich ist. Als neuer Schwellwert wird der Mittelwert des Grauwerthistogrammes über eine quadratische Fläche, die genau doppelt so groß ist wie der jeweilige Marker, genommen. Eine automatisch Anpassung der Markergröße darf hierbei übrigens nicht durchgeführt werden, da sonst die Eingabe von Marker-Größen- und Form-Parametern zur Zurückweisung natürlich nicht mehr sinnvoll wäre.

- **Common Rejection Criteria**: In dieser Dialogbox findet man die "Rejection Criteria", mit denen eine ganze Reihe von geometrischen oder grauwertorientierten Kriterien eingeschaltet werden können, um unerwünschte Marker auf der Objektoberfläche von der Bestimmung auszuklammern. Bei Kreismarkern ist z. B. die Einstellung der Pixelfläche (Area) und der Rundheit (Roundness) sinnvoll. Wenn ein Marker die eingestellten Zurückweisungskriterien nicht erfüllt, wird der ErrorCode 3 ausgegeben und der Marker wird nicht weiterverfolgt (außer, es ist eine automatische Verfolgung über die "Marker Extrapolation" eingestellt). Die globalen Kriterien werden von den individuellen Kriterien gleichen Typs überschrieben. (weitere Info im Anhang)

- **Individual Rejection Criteria**: Die oben genannten Zurückweisungskriterien gelten für alle Marker gleich. In dieser Dialogbox können dagegen auch einige individuelle Kriterien eingestellt werden. Z. Zt. sind hier nur Parameter zur Größenbestimmung aufgeführt. So kann eingestellt werden, daß Marker eine bestimmte Größe relativ zu ihrer Ausgangsgröße während ihrer Definition nicht über- oder unterschreiten dürfen. Wenn ein Marker die eingestellten Zurückweisungskriterien nicht erfüllt, wird der ErrorCode 3 ausgegeben und der Marker wird nicht weiterverfolgt (außer, es ist eine automatische Verfolgung eingestellt). Die jeweiligen individuellen Kriterien überschreiben die globalen, falls sie eingeschaltet sind. (weitere Info im Anhang)

- **Display Found Markers or Search-ROIs**: Wählen Sie, ob die gefundenen Marker durch kleine Kreise oder die Umrandung der Such-ROI auf dem Bildschirm angezeigt werden sollen. Dies ist in bestimmten Einstellungen wichtig, wenn z. B. kein Live-Bild während der Messung dargestellt wird und man trotzdem die Veränderung der Markerposition verfolgen möchte, z. B. um ein Herauslaufen aus dem Bildschirmbereich beurteilen zu können. Die Größe der Kreise richtet sich nach der angegebenen globalen Markergröße bei der

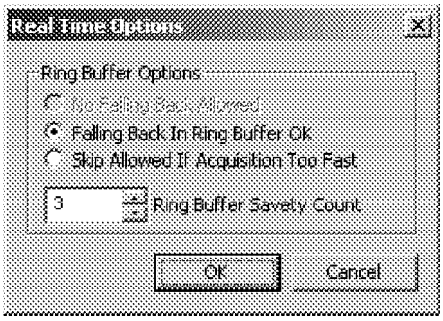
Definition. Wenn der "Color"-Schalter betätigt wurde, werden die Marker oder Such-ROIs in bestimmten Farben kodiert. Hierduch kann eine Fehlerbedingung auch beim Echtzeit-Tracken direkt beobachtet werden: grün=Marker_ok=Error0, weiß=Marker_am_Rand=Error1, gelb=Marker_rekonstruiert=Error2, magenta=Marker_rejected=Error3, rot=Marker_not_found=Error4/5/6, blau=neuer_Marker, noch nie gefunden (interner Code=-1). Diese Anzeige kostet relativ wenig Zeit und kann daher auch bei hohen Echtzeit-Frequenzen benutzt werden.

- **Save 2D-Marker Positions on Open File**: Wählen Sie, ob die gefundenen 2D-Marker-Positionen auf einen geöffneten Datenfile gespeichert werden sollen. Denken Sie daran, vor dem Tracking in diesem Fall auch einen Datenfile zu öffnen, da es sonst beim Start der "Tracking"-Funktion zu einer Warnung kommt. Dieser Schalter wurde eingeführt, da meist die 2D-Markerpositionen nicht weiter interessieren und nur die 3D-Raumkoordinaten oder die Objektlage abgespeichert werden sollen. Es kann jedoch sinnvoll sein, die 2D-Daten mitabzuspeichern, um später bei Unstimmigkeiten eine Kontrollmöglichkeit zu haben. Außerdem können nachträglich 2D-Daten z. B. mit neuen optimierten Kalibrierungen erneut in 3D-Daten umgerechnet werden.

- **Save 3D-Marker Positions on Open File**: Wählen Sie, ob die gefundenen 3D-Marker-Positionen auf einen geöffneten Datenfile gespeichert werden sollen. Denken Sie daran, vor dem Tracking in diesem Fall auch einen Datenfile zu öffnen, da es sonst beim Start der "Tracking"-Funktion zu einer Warnung kommt. Dieser Schalter ist defaultmäßig eingeschaltet, wenn eine 3D-Kalibrierung durchgeführt wurde.

- **Writing Enabled/Disabled**: In diesem Fenster wird angezeigt, ob die Schreibfunktionen für 2D- und 3D-Daten aktiviert sind. Dies ist defaultmäßig der Fall und kann nicht interaktiv geändert werden. Es besteht jedoch per MACRO-Programm oder per DDE- oder TCP/IP-Kommando die Möglichkeit, das Schreiben gezielt ein- und auszuschalten.

- **Real Time Options**: Wenn Sequenzbildspeicher aktiviert wurden, so wird in der Regel eine Echtzeitauswertung diese als Ringspeicher verwenden. Es gibt also einen Bildeinlesezeiger und einen Auswertezeiger, der mit der Auswertung immer dem Bildeinlesezeiger hinterherläuft. Wenn nun die Auswertegeschwindigkeit aus irgendwelchen Gründen zu langsam ist, wird der Auswertezeiger immer weiter hinter dem Bildeinlesezeiger zurückbleiben. Irgendwann wird dann die Gefahr bestehen, daß der Bildzeiger über den Auswertezeiger hinwegläuft und das gerade auszuwertende Bild mit neuem Bildinhalt überschrieben wird. Das darf natürlich nie geschehen.



Um dies jedoch zu verhindern, gibt es zwei Möglichkeiten: entweder wird die Messung sofort abgebrochen und es wird dann immerhin noch der komplette vorhandene Ringspeicher ausgewertet, oder es wird dem Auswertezeiger erlaubt, in größeren Schritten vorwärtszuspringen ("Skip Allowed"). Wann, also bei welchem Bildzeigerabstand dies entschieden wird, kann hier mit dem "Ring Buffer Savety Count" eingestellt werden. Hierbei ist es wichtig, zu wissen, daß picCOLOR die Bildzeiger erst nach dem jeweiligen Einlesen eines Bildes prüfen kann. Wenn nun irgendein Programm oder WINDOWS durch eine High-Priority-Anforderung (z. B. Graphics, Netzwerk) die Auswertung kurz angehalten hat, darf es nicht passieren, daß die Bilder, die ja per DMA in Echtzeit hereinkommen, unbemerkt den Auswertezeiger überholen. Daher sollte dieser Savety-Count so eingestellt werden, daß dies nicht passiert. Erfahrungsgemäß sind hier ein paar Millisekunden notwendig. Bei langsamen 50Hz Bildauswertungen reicht also ein kleiner Savety-Count aus. Bei Hochgeschwindigkeitsauswertungen mit 1000Hz sollte man schon etwas größere Sicherheitsgrenzen einstellen, z. B. 10 bis 20 Bilder. Wenn der Auswertezeiger hinter dem Bildeinlesezeiger zurückfällt, werden bei der Auswertung natürlich keine Bilder ausgelassen. Allerdings bedeutet das, daß sie nicht unbedingt mehr in Echtzeit ausgewertet werden, sondern mit einer bestimmten Verzögerung. Wenn dies nicht zugelassen werden kann, dann sollte man den Schalter "Falling Back in Ring Buffer" abschalten und statt dessen "No Falling Back" wählen.

- **Object Features**: Grundsätzliche Einstellungen der Markereigenschaften, z. B. ob hell oder dunkel, können in der normalen "Object Parameter"-Dialogbox eingestellt werden, die auch im "Measurement/Geometry/ Object"-Menü aufrufbar ist. Hier ist dieselbe Dialogbox der Einfachheit halber direkt erreichbar. (weitere Info im Haupthandbuch)

- **Image Preprocessing:** Es sind eine Reihe von Filtern möglich, mit denen die Marker vor der Suche bearbeitet werden können, um diese Sucher sicherer zu gestalten:

- **Flat Field Correction:** Die Flat-Field-Correction ist die vernünftigste Art, Helligkeitsunterschiede im Bild auszugleichen. Dies können Unterschiede sein, die direkt in der Kamera entstehen, z. B. einen Rand-Lichtabfall durch den Einfluß der Optik oder eventueller Micro-Linsen auf dem Kamera-Sensor, die in den Ecken schräg angestrahlt werden. Es können allerdings auch Einflüsse ungleichmässiger Beleuchtung sein. Ersteres kann in manchen Frame Grabbern direkt hardwaremäßig ausgeglichen werden, allerdings in der Regel nicht in Echtzeit. Daher ist hier diese Funktion vorgesehen, jedoch noch nicht implementiert. Bitte sprechen Sie bei Bedarf mit dem Entwicklungsteam.

- **Contrast Enhance:** Eine Kontrastverstärkung ist auf vielfältige Weise denkbar, bringt allerdings nicht immer einen tatsächlichen Informationsgewinn. So ist z.B. eine lineare Verstärkung um den Faktor 2 für das menschliche Auge sehr deutlich, verstärkt jedoch jegliches Rauschen um den gleichen Betrag, so daß eine Markersuche nicht sicherer würde. Vernünftige Kontrastverstärkungsalgorithmen sind weiter unten aufgeführt, nämlich die Laplace-Filter. Auf Wunsch kann hier jedoch eine spezielle Verstärkung implementiert werden: bitte sprechen Sie mit dem Entwicklungsteam.

- **De-Interlace Image:** Wenn eine Interlaced-Kamera zur Bildaufnahme eingesetzt wird, so sind die Markerabbilder in jedem Interlacedbild auf zwei Halbbilder verteilt, die zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt aufgenommen wurden. Bei sehr schneller Markerbewegung wird die Markerform dadurch kammartig verzerrt und eine Erkennung ist nicht mehr sichergestellt. Hier empfiehlt es sich, den "De-Interlace Filter" einzuschalten, der durch einfache Zeilenverdopplung (also Reduzierung der vertikalen Auflösung) den Interlace-Effekt beseitigt.

- **Invert Image:** Defaultmäßig sucht das picCOLOR-Programm helle Marker auf dunklem Grund. Über die allgemeine Objektsuchfunktion (Measurement/Geometry/Objects) kann die Suche auch auf dunkle Objekte vor hellem Hintergrund eingestellt werden. Es ist geplant, dies mit dem hier einschaltbaren Filter für jeden einzelnen Marker umschaltbar zu machen, d. h. daß hiermit in einem Bild sowohl helle als auch dunkle Marker gefunden werden können. Z. Zt. kann hiermit jedoch lediglich global für alle Marker invertiert werden. Dabei wird vor der Markersuche einfach der komplette Inhalt der Such-ROI pixelweise invertiert.

- **Laplace/Gauss Filter:** Bei relativ geringen Kontrasten im Bild oder wenn am Rand der Marker nur sehr (pixel-)dünne Stege diese vom Hintergrund mit ähnlicher Helligkeit abtrennen, kann ein Laplace-Filter die Erkennung der Marker durch eine Verstärkung solcher Stege trotzdem ermöglichen. Mit dem Kernel 3x3 erhält man eine sehr starke Filterung, mit dem 5x5-Kernel wird etwas weicher über eine etwas größere Nachbarschaft gefiltert. Man kann beide Kernel einschalten, wobei dann zuerst der 3x3, dann der 5x5-Filter ausgeführt wird. Die Gauss-Filter dienen dazu, bei zu starkem Bildrauschen zu filtern, z. B. nach sehr starker Kontrastverstärkung durch die A/D-Wandler in der Kamera oder im Frame Grabber. Auch hier kann ein 3x3 oder ein 5x5-Kernel eingestellt werden. Wenn beide eingestellt sind, so wird der 5x5-Kernel zuerst ausgeführt. Wenn Laplace- und Gauss-Filter beide eingestellt sind, so werden die Gauss-Filter zuerst ausgeführt.

- **Camera Calibration / Stereo Options:** Für eine genaue Auswertung ist es notwendig, die Linsenverzerrung der Objektive, also Kissen- oder Tonnenverzerrung zu korrigieren. Eine genauere Erklärung dieser Einstellungen findet man im Anhang. Außerdem können hier Stereo-Parameter eingestellt werden. Wichtig ist hier eigentlich nur das Stereo-Flag, denn die beiden Stereo-Bildspeicher werden ja schon in der Haupt-Dialogbox eingestellt.

- **3D-Reconstruction while Tracking**: Wählen Sie, ob neben der 2D-Marker-Bestimmung auch eine vollständige 3D-Rekonstruktion durchgeführt werden soll. Dies ist ein Schalter, der nur mit großer Überlegung betätigt werden sollte, denn er entscheidet z. B. über die interne Benutzung der Kalibrationsfaktoren des Systemes: Bei 2D-Vermessungen wird grundsätzlich die interne Systemkalibrierung aus dem "Calibration"-Menü benutzt, d. h. Längenkalibrierung, Ursprung, Rotation und Richtung der y-Achse. Wenn dieses 3D-Flag jedoch gesetzt ist, wird die Systemkalibrierung nicht benutzt, sondern alle Markerorte in den Stereo-Bildern werden relativ zur optischen Achse vermessen und es wird eine Kalibrierung beider Kameras über die "3D-Camera-Position"-Dialogbox oder über die automatische 3D-Kalibrierung mit einem bekannten Referenzobjekt erwartet. Aus diesem Grund müssen eventuell schon definierte Marker erneut definiert werden, wenn diese

Schalterstellung geändert wird. Entscheiden Sie also vor der Markerdefinition, ob eine 3D-Rekonstruktion vorgenommen werden soll! Die gesetzte System-Einheit [Unit], z. B. [mm], wird jedoch in jedem Fall benutzt. Wenn dann, z. B. für erste Tests, noch keine 3D-Transformationsmatrizen bestimmt worden sind und die Markerverfolgung gestartet wird, so wird eine Warnung ausgegeben, die daran erinnern soll. Die Markerverfolgung wird jedoch trotzdem durchgeführt, allerdings nur in Pixelkoordinaten relativ zur optischen Achse, die in der Regel dem internen 3D-Ursprung (Bildmitte oder ROI-Mitte) entspricht. Bevor eine tatsächliche 3D-Rekonstruktion durchgeführt werden kann, müssen die Transformationsmatrizen natürlich gesetzt werden. Wenn ein Datenfile geöffnet ist, so werden die ermittelten 3D-Koordinaten oder die Objektlage defaultmäßig immer darauf geschrieben, abhängig von der Einstellung der 3D-Datensicherung und des Write-Enable-Flags.

- **2D-Tracking: Using System Calibration and Origin:**
- **3D-Tracking: Screen Origin -> Center ROI [x,y]**: Wie oben schon angedeutet, wird beim 2D-Tracking die interne Kalibrierung benutzt. Beim 3D-Tracking dagegen werden alle Marker in den 2D-Stereo-Bildern in einem neuen Koordinatensystem dargestellt. Dieses Koordinatensystem hat die optische Achse der Kameras als z-Achse, der Koordinatenursprung liegt dann in der Regel in der Bildmitte. Tatsächlich wird die Mitte der aktuell eingestellten ROI benutzt, so daß man hier eine relativ freie Auswahlmöglichkeit hat. Bei maximaler ROI-Größe entspricht natürlich die Bildmitte der ROI-Mitte. Dieser Wert wird beim Einschalten des 3D-Tracking-Schalters automatisch bestimmt und angezeigt. Allerdings kann man diesen Wert ändern, was z. B. sinnvoll sein kann, wenn man nur Teilbilder der Kamera einliest und dabei die optische Achse nicht mit der Bildmitte übereinstimmt. Noch nicht unterstützt wird allerdings eine unterschiedliche optische Achse für die beiden Stereo-Kameras. Für die interne 3D-Berechnung hat die Ursprungswahl nur einen indirekten Einfluß, da Objektpositionen in einem absoluten System bestimmt werden, unabhängig vom Bildschirmsystem. Lediglich eventuell einzugebende Kamera-Positionsangaben müssen sich natürlich hierauf beziehen, was, speziell bei der View-Point-Eingabe, meist der einfachere und direktere Weg ist.

Marker Definition

Starten Sie nun die ‘‘Define Markers’’-Funktion im unteren Teil der Marker-Dialogbox. Hier definieren Sie nun die Marker-Positionen durch Anklicken mit der linken Maustaste möglichst in der Mitte der Marker. Für jeden einzugebenen Marker müssen Sie in der Regel zweimal die linke Maustaste drücken, das erste Mal zum Anwählen des Markers, das zweite Mal zum Akzeptieren und Entfernen der in der Statuszeile angegebenen Information über den gefundenen Marker. Hier ist auch die Möglichkeit implementiert, den gerade gefundenen Marker zu verwerfen. Danach ist das System bereit für die Anwahl des nächsten Markers. Wenn keine sinnvollen Marker angewählt wurden, also z. B. dunkle Marker bei eingestellter Definition für helle Marker, so wird dies ebenfalls in der Statuszeile angemerkt. Die Zurückweisungskriterien sind allerdings bei der Markerdefinition abgeschaltet. Wenn die Marker in zwei getrennten Bildspeichern vorliegen, so schaltet das System automatisch nach Eingabe der halben Gesamtanzahl auf das zweite Bild um. Für eine 3D-Rekonstruktion müssen die Marker der beiden Teilbilder jeweils in der gleichen Reihenfolge definiert werden, da die Software eine Zuordnung der Abbilder der gleichen Marker in den beiden Teilbildern vornehmen muß. Geben Sie zuerst die Marker im Bild der ersten Kamera ein, dann in gleicher Reihenfolge im Bild der zweiten Kamera. Die Markernummern werden dabei angezeigt, so daß immer eine Prüfung möglich ist, welche Marker schon eingegeben wurden und welche noch nicht. Bei einer Stereo-Eingabe haben dann die korrespondierenden Markerabbilder die gleiche Numerierung. Nach der Eingabe werden die definierten Markerpositionen in einer Art Animation kurz nacheinander durch die Such-ROIs angedeutet. Diese Anzeige kann mit der ‘‘Check Search-ROIs’’-Funktion wiederholt werden, wobei man hier die Möglichkeit hat, alle Marker gleichzeitig mit ihrer Nummer anzeigen zu lassen. Die Art der Nummerndarstellung kann in der Params/Adapt-Dialogbox gewählt werden - siehe unten. Die zuvor definierten Marker müssen genau in der Mitte der ROIs liegen, sonst liegt eine Fehlfunktion vor. Die Größe der angezeigten Such-ROIs orientiert sich an der zuvor eingegebenen maximalen Verschiebung der Marker in zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern. Diese maximale Verschiebung kann auch nachträglich verändert werden. Bei erneutem Prüfen kann dann die angepaßte neue Such-ROI-Größe beobachtet werden. Wenn die Markeranwahl zur Definition der z. B. 12 Markerabbilder der 6 Referenzpunkte für eine Transformationsmatrizen-Bestimmung durchgeführt wird, dann müssen die Marker außerdem in der gleichen Reihenfolge wie die 6 Referenzpunkte in der "3D-Position Setup"-Dialogbox (siehe weiter unten) eingegeben werden.

Die Eingabe der ungefähren Größe der Marker ist notwendig, um automatisch eine sinnvolle Grauwertschwelle zur Erkennung des jeweiligen Markers bestimmen zu können. Hierzu wird der Mittelwert der Grauwerte der Markerumgebung und des Markers selbst berechnet. Dieses auf dem Grauwerthistogramm basierende Verfahren ergibt natürlich nur sinnvolle Werte, wenn die intern zur Bestimmung benutzte Hintergrundfläche in etwa so groß ist

wie der Marker selbst. Wenn ein angewählter Marker wesentlich kleiner oder größer ist, als in der Dialogbox angegeben wurde, so wird dies jedoch in der Regel vom System erkannt und es wird automatisch eine neue, kleinere oder größere Hintergrundfläche benutzt. Dies wird durch eine kurze Meldung in der Statuszeile angezeigt, während derer die neue korrigierte Markerumrandung durch Invertieren hervorgehoben wird. Diese automatische Größenkorrektur funktioniert solange, wie die ungenau bestimmte Grauwertschwelle noch zu einer richtigen Erkennung führt. Je besser die Bildkontraste erscheinen, d. h. der Grauwertunterschied zwischen Hintergrund und Marker, desto unproblematischer wird die Größenangabe und die automatische Korrektur. Im Zweifelsfall sollte man eher zu große Marker angeben.

Alle gefundenen Markerparameter können mit Hilfe der "Show Marker Parameter"-Dialogbox (mit dem "Params/Adapt"-Schalter) angezeigt werden. Hier kann auch die automatisch bestimmte Grauwertschwelle beurteilt werden. In dieser Dialogbox kann auch eine halbautomatische iterative Adaption der Grauwertschwelle und der Markergröße vorgenommen werden. Dies ist eine wichtige Funktion, die immer nach einer Kalibrierung durchgeführt werden sollte - sie wird im nächsten Abschnitt vorgestellt

Die Search-ROIs mit allen Markerparametern können mit der Funktion ‘‘Save Marker Pos. 0’’ gespeichert werden. Hiermit werden die Markerpositionen und andere Daten auf internen Variablen zwischengespeichert und können jederzeit mit der Funktion ‘‘Restore Marker Pos. 0’’ restauriert werden, falls sie z. B. durch einen fehlerhaften Trackingvorgang verloren gingen. Ebenso läßt sich ein zweiter Satz von Markerpositionen (‘‘Save Marker Pos. 1’’) zwischenspeichern und wiederherstellen. Wenn hier eine sinnvolle, leicht einzustellende Referenzposition abgespeichert wird, so muß nach einer Fehlmessung, wenn die Marker verlorengegangen sind, einfach nur das Meßobjekt auf diese Referenzposition zurückgestellt werden, die Markerposition mit ‘‘Restore Marker Pos. 0’’ restauriert werden und schon kann die Messung weiterlaufen.

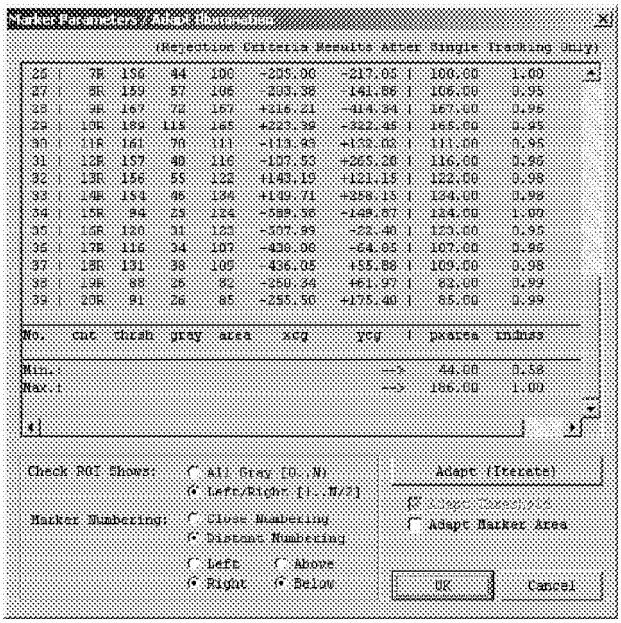
Alle Einstellungen der ‘‘Marker Parameter’’-Dialogbox können auf einen Binär-File auf der Festplatte abgespeichert werden. Der Filename wird interaktiv eingefragt und erhält automatische die Extension .TPR (für Tracking-Parameter). Wenn beim Abspeichern schon Markerpositionen definiert worden waren, so werden diese ebenfalls mit allen zusätzlichen Informationen über die Marker abgespeichert (Grauwertschwelle, Pixelfläche, Suchfenstergröße und -lage sowie die Daten der eventuell zwischengespeicherten beiden Reserve-Marker-Positionen). Ebenfalls werden die kompletten Parameter der Object- und Rejection-Criteria-Dialogbox mitgespeichert sowie alle anderen über die Marker-Parameter-Dialogbox erreichbare Werte. Auf diese Weise können schon einmal definierte Markerpositionen schnell wieder eingelesen werden. Dies funktioniert auch noch, wenn sich die Markerpositionen ein wenig verändert haben, z. B. von einem Meßtag zum anderen. Dann läd man die Markerpositionen herein und startet eine einzelne Markerverfolgung mit einem neu aufgenommenen Bild, eventuell mit etwas vergrößerter Such-ROI. Danach stehen die aktuellen genauen Markerpositionen incl. aller Zusatzparameter dem System zur Verfügung. Die Beleuchtungsverhältnisse dürfen sich hierbei jedoch nicht allzu stark geändert haben, da die automatische Funktion zur Adaption der Grauwertschwellen natürlich nicht beliebig große Sprünge überbrücken kann. Auf jeden Fall kann es sinnvoll sein, nach dem Hereinladen eines alten Markerparameter-Files mit neuen Bildern die Adaptionsfunktion manuell einige Male aufzurufen.

Nun haben Sie alle Parameter sowie die Referenz-Markerpositionen für das Tracking definiert und können mit einer 2D-Auswertung beginnen. Zur 3D-Auswertung muß natürlich noch eine 3D-Kalibrierung vorgenommen werden, falls dies noch nicht geschehen ist. Es empfiehlt sich, eine Testauswertung mit dem aktuellen Referenzbild vorzunehmen. Hierzu starten Sie die Objektverfolgung mit der ‘‘Single Tracking’’-Funktion. Wenn alles richtig eingestellt ist, werden die bereits zuvor definierten Marker richtig erkannt und es wird kein ErrorCode ausgegeben. Wenn ErrorCodes auftreten, sollte man zunächst prüfen, ob nicht bestimmte Zurückweisungskriterien (ErrorCode 3) zutreffen und neu angepaßt werden müssen. Schließlich waren diese ja bei der Markerdefinition nicht aktiv.

Neben dem Test aller Einstellungen dient diese erste Markerverfolgung auch der Initialisierung und Festlegung einer eventuell mitbestimmten (d. h. rekonstruierten) 3-dimensionalen Objektlage. Hierzu ist es absolut notwendig, daß bei diesem ersten Tracking kein Fehler auftritt. Der ErrorCode (siehe unten) sollte dann also nur Nullen aufweisen, höchstens noch den Wert 1 für nahe am Bildrand liegende Marker oder unter bestimmten Umständen den Wert 2 für Marker, die nicht sichtbar sind und aus den nächsten Nachbarn rekonstruiert wurden. Möglichkeiten zur Korrektur bei Fehlverhalten sind im Kapitel zur 3D-Rekonstruktion diskutiert. Im Fehlerfall ändern Sie die notwendigen Parameter und setzen die Objektposition auf Null zurück, indem Sie die Funktion "New 3D-Position (Reset)" aufrufen. Bei einer Neudefinition der Markerpositionen wird diese Reset-Funktion automatisch ausgeführt.

Wenn bestimmte Parameter der ‘‘Marker Parameter’’-Dialogbox geändert werden, müssen die Marker neu definiert werden. Dies gilt für die Anzahl der Marker-Abbilder, eventuell die Größe der Marker, die Bildschirmkonfiguration (Split/Two-Screen) und die Wahl der 3D-Rekonstruktion (wegen der System-Kalibration in Pixel/Unit). Andere Parameter, z. B. die automatische Adaption, die Marker-Extrapolation und die maximale erlaubte Verschiebung von einem Bild zum zeitlich folgenden (Marker Shift) können geändert werden, ohne daß die Marker neu definiert werden müssen. Das System gibt eine Fehlermeldung aus, wenn alte Markerpositionen benutzt werden sollen, jedoch eine Neudefinition notwendig ist.

Params/Adapt: Check Parameters And Adapt Threshold And Size



In der Marker-Parameter-Dialogbox findet man den "Params/Adapt"-Schalter. In der hierbei erscheindenen Dialogbox können die wichtigsten individuellen Marker-Parameter wie z. B. Grauwertschwelle und Größe beurteilt werden. Zusätzlich findet man hier auch nach erfolgtem Single-Tracking die aktuellen Werte der Marker bzgl. der eingestellten Zurückweisungskriterien bzw. Fehlermeldungen, wenn Marker nicht gefunden wurden.

Über den "Adapt/Iterate"-Taster kann man die Grauwertschwelle aller Marker und eventuell auch ihre individuelle Größe, wenn dies über den darunter liegenden "Adapt Marker Area"-Selektions-Schalter eingestellt ist, an leicht geänderte Versuchsbedingungen, z. B. unterschiedliche Beleuchtung, anpassen. Dies ist ein iterativer Vorgang, d. h. bei jedem Druck des "Adapt/Iterate"-Tasters wird mit den aktuellen individuellen Werten der Grauwertschwelle die Markergröße bestimmt, hieraus die doppelte Fläche zur Histogrammbestimmung berechnet, und eine neue Grauwertschwelle zur Markersuche bestimmt. Wenn der "Adapt Marker Area"-Schalter eingeschaltet ist, wird bei der Markersuche vor der Histogrammberechnung noch die Größe angepaßt. Es ist also notwendig, den "Adapt/Iterate"-Taster mehrfach zu betätigen, bis sich in den angezeigten Markerwerten keine Änderung mehr erkennen läßt. Wenn sich hierbei keine Werte mehr ändern, ist die Voreinstellung und Initialisierung beendet und die Auswertung kann beginnen.

Wenn Marker bei der Adaptierung nicht gefunden werden, werden (hoffentlich) hilfreiche Fehlermeldungen ausgegeben. In der Regel wird etwa ein Zurückweisungskriterium angesprochen haben und man kann durch neue Anpassung dieser Kriterien eine erfolgreiche Adaption erzielen. Wenn jedoch Marker nicht relativ genau in der Mitte der Such-ROI liegen, z. B. nach einem leichten Verschieben des Meß-Objektes, kann es sein, daß sie bei dieser Adaption nicht gefunden werden. Die Adaptionsfunktion trifft keine Annahmen über die Beleuchtung und die richtige Grauwertschwelle und kann daher nicht auf die übliche Art die Such-ROI abscannen. Statt dessen versucht sie, von der Mitte aus über Messung der Kontraständerung einen Marker zu finden. Über die Einstellung der Markersize in der Marker-Parameter-Dialogbox kann hier in einem solchen Fall die angenommene Größe verändert werden und erneut versucht werden, den Marker zu finden und dann automatisch zu adaptieren. Es wird bis zu Markersize/4 aus der Mitte heraus versucht, ob ein sinnvoller Marker gefunden wird. Einige der Fehlermeldungen sind im Anhang beschrieben.

Zusätzlich sind hier in der Dialogbox auch noch Einstellmöglichkeiten für die Numerierung der Marker gegeben: bei einer Stereo-Kalibrierung können die Marker bzw. ihre ROIs entweder alle in grauer Farbe und von 0..N durchnumeriert dargestellt werden oder, was natürlich sehr sinnvoll sein kann, für linkes und rechtes Stereobild von 1..N/2. In diesem Fall sind die Such-ROIs zur Unterscheidung vom Normalfall in roter Farbe hervorgehoben. Die Nummer der Such-ROI bzw. des Markers wird normalerweise etwas außerhalb der rechten unteren Ecke der ROI angezeigt. Hier besteht die Möglichkeit, alle vier ROI-Ecken auszuwählen, und außerdem auch noch eine Darstellung der Nummer innerhalb der ROI. Dies kann sehr hilfreich sein, wenn die Such-ROIs sehr nah aneinanderliegen und kaum noch festgestellt werden kann, zu welcher ROI eine bestimmte Nummer tatsächlich gehört.

Edit Marker

Wenn nach einer Definition einige Marker auf dem Objekt geändert werden müssen, z. B. weil sie an einen ungünstigen Ort angebracht wurden, besteht die Möglichkeit, sie in den 2-dimensionalen Bildern zu editieren, d. h. zu verschieben. Hierzu sollten aktuelle Bilder eingelesen werden, der gewünschte Stereo-Bildspeicher aktiviert und dann die Funktion "Edit 2D-Marker Position" aus dem Menü aufgerufen werden. Nach der Abfrage, ob die geänderten Marker als komplett neu definiert werden sollen oder ob alle internen Werte für Größe, Grauwert und Schwelle beibehalten werden sollen, können die Marker nun per Mausklick und Verschiebung an den korrekten Ort gezogen werden. Nach dieser Funktion sollte man auf jeden Fall die Adapt-Marker-Funktion ausführen.

Real Time Tracking

Wenn Sie eine 3D-Echtzeitpositionsbestimmung mit zwei Kameras durchführen wollen, so müssen Sie sicherstellen, daß die richtigen Kameraeingänge benutzt werden, falls der Frame Grabber hier eine Wahl zuläßt. Sie werden in der ‘‘Split-Screen’’ oder ‘‘Stereo Control’’-Dialogbox (im ‘‘Acquire’’-Menü) eingestellt. Ebenfalls muß im Falle einer Split-Screen-Einstellung bei der richtigen Zeile oder Spalte von Kamera 1 auf Kamera 2 umschaltet werden. Alle diese Einstellungen betreffen direkt die Frame Grabber Hardware auf der Bildeinlesekarte und werden daher nur über das ‘‘Acquire’’-Menü zur Verfügung gestellt, nicht im ‘‘2D/3D-Tracking’’-Menü.

Bei Benutzung von je zwei Kamera-Vollbildern hängt es von der eingesetzten Hardware ab, ob diese gleichzeitig oder nur nacheinander eingelesen werden können. Hierdurch kann sich die Auswertegeschwindigkeit verringern. Bei nacheinanderfolgendem Einlesen im Stereo-Modus wird dann bestenfalls eine Auswertefrequenz von einer Auswertung alle 2 Bilder erzielt, d. h. nur jedes zweite Stereo-Bild kann ausgewertet werden (12.5 Bilder/Sekunde bei 25Hz CCIR-Kamera). Bei Split-Screen-Einstellung, wenn also nur Teilbilder der beiden Kameras übernommen werden, können bei Eignung der Hardware (z. B. CORECO F64P oder IDS-Falcon/Eagle) trotzdem Auswertegeschwindigkeiten von voller Kamerabildfrequenz erzielt werden. Die meisten modernen Frame Grabber bieten jedoch die Möglichkeit, Bilder von zwei Kameras direkt in Echtzeit einlesen zu können, so daß man hier keine Probleme erwarten muß.

Vor Beginn der Auswertung öffnen Sie einen Datenfile, eine andere Hardware-Schnittstelle des Rechners (z. B. Serieller Port), oder initialisieren Sie die DDE- oder TCP/IP-Schnittstelle, je nachdem, wohin die Ergebnisdaten gesendet werden sollen.

Egal, ob nun eine 2D- oder 3D-Positionsbestimmung folgt, wird diese dann einfach mit der Funktion ‘‘Continuous Tracking’’ gestartet und läuft nach einer Start-Triggerung (linke Maustaste oder ein anderer zuvor definierter Event) ununterbrochen bis zum Abbruch mit der ESC-Taste oder der rechten Maustaste oder bis zu einer anderen Endbedingung (siehe Anhang: Triggerung). Schließen Sie nach Beendigung der Funktion einen eventuell geöffneten Datenfile, bevor Sie sich ihn ansehen.

Während des Echtzeit-Trackings wird in der Status-Zeile des aktiven Bildes einiges an Information angezeigt:

"RT Tracking: Image=nn, Delay=dd, Max=maxdd, Skip=ss" und eventuell noch "Lost=xx"

An dieser Zeile kann abgelesen werden, das wievielte Bild gerade übernommen wird, ob der Auswerte-Zeiger tatsächlich das letzte übernommene Bild ausgewertet hat (Delay=0) oder ob der Auswertezeiger hinter dem Bildeinlesezeiger zurückfällt (Delay>0) und wie groß der maximale Delay seit dem Start des Trackings war. Die Werte "Skip" und "Lost" sollten immer Null sein: "Skip" zeigt an, daß Bilder übersprungen wurden, da der Auswertezeiger im Ringbuffer bedroht wurde, vom Bildeinlesezeiger überholt und damit überschrieben zu werden. "Lost" zeigt an, daß der Frame Grabber Fehler gemeldet hat und eventuell Bilder beim Einlesen fehlen oder Triggerimpulse nicht zu einem Bildeinlesen führten.

Wenn der Schalter ‘‘Save 2D-Positions’’ eingeschaltet ist, so werden neben den 3D-Daten auch die 2D-Positionen aller Marker mit eigenem Header ausgegeben und zusätzlich auch noch der ‘‘Error Code’’ nach der weiter unten angegebenen Kodierung, ein Delay-Wert, ein I/O-StatusCode, der FrameIndex (das ist die Bildnummer im Sequenzspeicher), ein Zeitstempel (TimeStamp), der entweder eine laufende Nummer ist oder ein tatsächlicher Zeitstempel, der den genauen Zeitpunkt der Bildaufnahme angibt (siehe Anhang: Time Stamp), und schließlich auch noch der LostFrames-Wert, der eventuelle Fehler des Frame Grabbers anzeigt. Diese Statuszeile kann allerdings bei 3D-Messungen auch getrennt eingeschaltet werden.

Post Processing

Wenn Sie dagegen zuvor eingelesene und im Sequenzspeicher oder auf der Festplatte befindliche Bilder untersuchen wollen, gehen Sie wie folgt vor:

- Laden Sie das zu vermessende Bild in den aktuellen Bildspeicher. Bei einer 2-Vollbilder-Stereo-Auswertung müssen die beiden Kamerabilder in die Stereo-Bildspeicher geladen werden. Diese beiden Bildspeicher können entweder in der ‘‘Marker Parameter’’-Dialogbox definiert werden, wenn der Schalter ‘‘Two Screens’’ eingeschaltet ist, oder auch im ‘‘Stereo Control’’-Menü im ‘‘Control-Panel’’ oder im ‘‘Acquire’’-Menü.
- Starten Sie die ‘‘Single Tracking’’-Funktion
- Laden Sie nun das nächste zu untersuchende Bild (oder die 2 Bilder) in den (die) Arbeitsspeicher und starten Sie den Tracking-Vorgang erneut.

Wenn mehrere Datensätze per "Single Tracking" nacheinander auf einen File gespeichert werden sollen, so empfiehlt es sich, nach dem ersten Durchgang die File-Headers (in der ‘‘MeasureControl’’-Dialogbox) abzuschalten, da jeder Einzelaufruf der Tracking-Funktion sonst eine neue Kopfzeile (Header) abspeichert. Dies würde den Datenfile nur unnötig aufblähen. Statt eines manuellen Hereinladens der jeweils folgenden Bilder kann natürlich auch ein MACRO-Programm geschrieben werden, das die Bilder automatisch hereinlädt und die Auswertung startet. Beispiele hierfür werden gerne zur Verfügung gestellt.

Bilder können statt von der Festplatte auch aus einem Sequenz-Bildspeicher geladen werden oder auch direkt im Sequenzspeicher ausgewertet werden. Dieses Postprocessing direkt im Sequenzspeicher ist z. B. dann sinnvoll, wenn spezielle Hochgeschwindigkeitskameras die Bilder mit derart hoher Geschwindigkeit in den Speicher gelesen haben oder wenn derart viele Marker ausgewertet werden müssen, daß eine Echtzeitauswertung nicht mehr möglich ist. Man nimmt dann einfach eine Bildsequenz in den Sequenzbildspeicher auf und startet dann die Auswertung mit einem MACRO-Programm, die dann, je nach Anzahl und Größe der Marker, nur unwesentlich länger als die Bildaufnahme dauert. Ein einfaches Beispiel hierzu findet man im Anhang.

Dieses Vorgehen kann auch sinnvoll sein, wenn z. B. ein bewegtes Objekt bestimmt werden soll, das nicht in einer ruhigen Ausgangslage zur einfachen Markerdefinition zur Verfügung steht. Hier wird dann wiederum eine Bildsequenz aufgenommen und z. B. das erste Bild der Sequenz als Referenz-Ausgangslage benutzt, in dem man manuell die Markerdefinition vornehmen kann.

Fehlerbedingung (Error Code)

Nach jedem einzelnen Object Tracking wird anhand der gefundenen oder nicht gefundenen Marker ein ‘‘ErrorCode’’ bestimmt und unter bestimmten Bedingungen und/oder auf bestimmte Schnittstellen ausgegeben. Normalerweise sollte man hier nur Nullen erhalten, die anzeigen, daß alle Marker gefunden wurden. Auch wenn Marker nicht gefunden wurden, sind die angegebenen Positionen nicht unbedingt völlig unsinnig, da das System verschiedene Möglichkeiten zur Extrapolation hat. Im einfachsten Extrapolationsfall merkt sich die Software die Markerpositionen der letzten 5 Bilder und bestimmt daraus die gemittelte Markerbewegungsgeschwindigkeit und Richtung. Wenn diese Bewegung mehr oder weniger gleichförmig ist, so wird der im Fehlerfall vorausbestimmte neue Markerort immerhin einigermaßen stimmen. Wenn dann in einem der folgenden Bilder die Marker wieder richtig gefunden werden, fallen diese wenigen angenäherten Markerorte möglicherweise nicht weiter ins Gewicht. Wenn jedoch ein Marker über längere Zeit nicht gefunden werden kann und gleichzeitig sich seine Geschwindigkeit ändert oder durch Fehl-Erkennungen eine falsche Geschwindigkeit berechnet wurde, dann läuft das Such-Fenster weg und der Marker ist unwiederbringlich verloren. In diesem Fall sollte man das Programm abbrechen, die letzte sinnvolle zwischengespeicherte Markerposition und die dazugehörende physikalische Objektposition restaurieren und das Tracking erneut starten. Wenn bekannt ist, daß die Markerbewegung grundsätzlich nicht gleichförmig ist, sollte diese einfache "Marker Extrapolation" besser abgeschaltet sein. Bei einer 3D-Rekonstruktion kann der Fehler bei dieser Extrapolation natürlich abhängig von den Positionen der Kameras erheblich verstärkt werden. Daher sollten Werte, die Error Codes >1 besitzen, auf jeden Fall mit großer Vorsicht weiterbenutzt werden. Die zweite mögliche Art der Markerextrapolation ist die Rekonstruktion aus den nächsten Nachbarmarkern. Diese Methode funktioniert natürlich nur bei einem 3D-Tracking. Dann ist sie allerdings recht sicher und zuverlässig und ergibt sogar subpixelgenaue Ergebnisse, die allerdings wegen der internen zweimaligen 2D->3D Umrechnung und Rekonstruktion aus verschiedenen 3D-Vektoroperationen mehr Ungenauigkeiten aufweisen wird. Solcherart rekonstruierte Punkte werden mit dem ErrorCode 2 gekennzeichnet.

Der ‘‘ErrorCode’’ wird entweder interaktiv in einer Message-Box (nur beim Single Tracking) angezeigt oder bei geöffnetem Datenfile und eingeschalteter Abspeicherung der 2D-Daten auf diesen File geschrieben. Wenn keine 2D-Daten gespeichert werden und auch die Statuszeile bei 3D-Daten abgeschaltet ist, so wird zumindest der höchste ‘‘ErrorCode’’, der sozusagen den schlimmsten Fehler darstellt, am Zeilenende hinter den 3D-Daten ausgegeben. Der ‘‘ErrorCode’’ kann auch über die DDE- oder TCP/IP-Schnittstelle an ein anderes Programm oder einen anderen

Rechner weitergegeben und dort ausgewertet und für bestimmte Aktionen benutzt werden. Im ‘‘ErrorCode’’-String hat jeder definierte Marker eine Dezimalstelle. Für einen richtig gefundenen Marker wird eine Null ausgegeben. Eine von Null verschiedene Ziffer bedeutet das Auftreten eines Problemes. Es sind folgende 9 verschiedene Status- oder Fehlerbedingungen möglich:

- 0: Kein Fehler: Marker gefunden und als sinnvoll erkannt
- 1: Kein Fehler: Marker einwandfrei gefunden. Marker befindet sich allerdings sehr nah am Bildrand und wird bei Beibehaltung der bisherigen Richtung sehr bald aus dem zulässigen Bildbereich (ursprünglich eingestellte ROI) herausfahren. Dies gilt auch bei Split-Screen Einstellung. Hier wird dann die ‘‘Switch-Line’’ aus dem ‘‘Split-Screen’’-Menü abgefragt.
- 2: Marker wurde nicht gefunden, konnte aber mit Hilfe der drei nächsten benachbarten Marker bestimmt werden. Je nach Lage dieser Nachbarn kann das Ergebnis noch sehr genau sein, natürlich nur, wenn das Objekt nicht biegsam oder elastisch ist.
- 3: Marker wurde durch eines der allgemeinen oder der individuellen Objektsuchkriterien zurückgewiesen. Diese Kriterien sind sehr vielfältig. Sie können in der Object-Dialogbox (Measurement/Geometry/Objects) oder der Individual Criteria-Box ausgewählt und eingestellt werden (weitere Info im Anhang).
- 4: Marker berührt den Rand der kleinen Such-ROI. Dies passiert, wenn sich die Marker zu schnell bewegen und während einer Bildperiode schon teilweise aus der Such-ROI herauslaufen. Dieser Fehler kann jedoch auch auftreten, wenn die Kontraste extrem gering sind und Markerumrandungen z. B. in den Hintergrund hineinlaufen.
- 5: Kein zulässiger Marker wurde in der Such-ROI gefunden. Es berührt auch nichts den Rand der Such-ROI.
- 6: Es wurden zu viele gültige Marker in der Such-ROI gefunden. Eine Entscheidung war nicht möglich.
- 7: Dieser Errorcode wird für die 3D-Objektbestimmung genutzt: er bedeutet, daß bestimmte Werte sehr ungenau werden, z. B. der Pitch-, Roll- oder Yaw-Winkel
- 8: Dieser Errorcode wird für die 3D-Objektbestimmung genutzt: er bedeutet, daß ein schwerwiegendes 3D-Rekonstruktionsproblem besteht, z. B. bei drei auf einer Linie liegenden Punkten.

Beispiel: 013000: Es gibt 6 Marker: Marker 1, 4, 5 und 6 wurden eindeutig erkannt, Marker 2 bewegt sich bald aus dem Bild heraus, Marker 3 wurde aus irgendwelchen Gründen zurückgewiesen. Zu den möglichen Zurückweisungskriterien lesen Sie bitte im picCOLOR-Haupthandbuch das Kapitel zur Objektsuche oder auch die kurze Abhandlung hier im Anhang. Hier können sehr unterschiedliche Parameter gewählt werden, z. B. Markergröße, Rundheit, Randlänge, Ellipsenparameter usw. Bei den individuellen Zurückweisungskriterien ist z. Zt. lediglich die prozentuale Größenänderung implementiert. Bei nicht gefundenen Markern werden die Such-ROIs normalerweise nicht mehr verschoben. Wenn allerdings eine Art der Markerextrapolation eingeschaltet ist, wird versucht, die Marker weiterzuverfolgen und es werden auch die Such-ROI's weiterbewegt. Wenn ein Marker also nur kurz verschwindet, weil er z. B. verdeckt wurde, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß er bei Wiedererscheinen an der richtigen (weiterbewegten) Stelle erwartet und auch gefunden wird. Wenn ein Marker jedoch über längere Zeit nicht gefunden wurde, so ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, daß die mitverschobene Such-ROI mit dem Marker überhaupt nicht mehr übereinstimmt, zumindest mit der einfachen Extrapolation aus der Bewegung der letzten 5 Bilder. Die Rekonstruktion aus dne nächsten Narbarn ist da schon sehr viel zuverlässiger. Bei eingeschalteter Extrapolation muß immer überprüft werden, daß nicht versehentlich irgendein anderes Objekt im Bild, daß einem Marker ähnlich ist, d. h. eine ähnliche Größe besitzt, als Marker erkannt und dann weiterverfolgt wird.

3D-Rekonstruktion

Die Lage eines Objektes, das über zwei Kameras von unterschiedlichen Blickwinkeln aus aufgenommen wird und in seiner Bewegung verfolgt wird, kann mit Hilfe stereometrischer Methoden bestimmt werden. Hierbei gibt es verschiedene Arten der Bestimmung mit unterschiedlichen Drehungssystemen. Zur Auswertung muß das System, bestehend aus dem Objektraum und den zwei Kameras, kalibriert werden. Der direkte Weg kann begangen werden, wenn Position und Blickwinkel der Kameras genau bekannt ist. Dies ist jedoch selten der Fall. Daher wurde für das picCOLOR-Programm ein indirektes Verfahren entwickelt, zu dem lediglich die exakte Lage von mindestens 6 Raumpunkten im Blickfeld beider Kameras bekannt sein muß. Hieraus wird indirekt die Lage der Kameras bestimmt.

Grundlagen

Das grundsätzliche Verfahren zur 3D-Positionsbestimmung ist einfach, wenn die genauen Positionen und Kalibrierfaktoren der beiden Kameras bekannt sind. Aus zwei Abbildungen eines Raumpunktes aus unterschiedlichen Richtungen läßt sich die tatsächliche Lage bestimmen, indem die Lage in den aufgenommenen Bildern und die Position der Kameras relativ zum Objekt als Folge verschiedener Translationen und Drehungen und einer anschließenden Projektion angenommen werden. Es muß dann nur die Kameraposition in die jeweiligen Translationen, Drehungen, Projektionen und Skalierungen umgesetzt werden. Man erhält damit für jede Kamera eine Transformationsmatrix. Wenn nun mit Hilfe dieser Transformationsmatrizen die Transformationsgleichungen für jeden Raumpunkt aufgestellt werden, so erhält man ein überbestimmtes Gleichungssystem, das über eine ‘‘least square’’-Methode gelöst wird. Der große Nachteil dieser direkten Methode ist nur, daß normalerweise die Kamerapositionen und vor allem ihre Blickwinkel nur ungenau bestimmt werden können, besonders wenn die Kameras sehr weit auseinanderliegen und andere Versuchsaufbauten oder Objekte zwischen ihnen liegen.

Hier bietet es sich an, die gesuchten Transformationsmatrizen auf andere Weise zu bestimmen. Wenn 6 Raumpunkte bekannt sind und ihre Abbildungen in beiden Kamerabildern vermessen werden können, kann für jede Kameraposition ein homogenes Gleichungssystem von 12 Gleichungen mit 12 Unbekannten aufgestellt werden, das sich in ein inhomogenes Gleichungssystem mit 11 Gleichungen und 11 Unbekannten überführen läßt (siehe auch Rogers, Ref. 1 und 2). Dabei wird das [4,4]-Element der Matrizen, das eine lineare Skalierung des Abbildungsmaßstabes besagt, zu 1.0 gesetzt. Dies ist normalerweise keine Einschränkung, da die Transformationsmatrizen automatisch über die Eingaben der 6 Raumpunkte in gewünschter Einheit skaliert werden. Die normale Kalibrierung des picCOLOR-Systemes (im Calibration-Menü) wird hierbei nicht verwendet. Eine Einheit (z. B. [mm]) kann jedoch gesetzt werden, damit ausgegebene Daten die richtige Einheit aufweisen. Das Gleichungssystem wird über einen Gauss-Algorithmus mit Nachiteration oder über eine Matrix-Inversion gelöst. Die Determinante und das Hadamard´sche Konditionsmaß sowie die Residuen können zur Überprüfung angezeigt werden. Es ist hierbei zu beachten, daß diese Konditionsmaße nicht unbedingt hinreichend für eine Beurteilung der Konditionierung der Gleichungssysteme sind. Aufgrund der Umwandlung des Gleichungssystemes von 12 auf 11 Gleichungen wird die y-Komponente der Abbildungen des 6. Raumpunktes nicht verwendet, so daß man die Möglichkeit hat, als 6. Raumpunkt einen etwas unsichereren Punkt zu wählen, der z. B. in den Referenzbildern nicht so gut oder nicht so exakt detektiert werden kann. Beim Überprüfen der Transformationsmatrizen durch Anzeige der 6 Referenzpunkte auf dem Bildschirm (Plot 3D-Points) würden dann nur hier bei der y-Komponente des 6. Punktes Abweichungen erwartet werden können.

Diese y-Komponente des 6. Punktes kann jedoch trotzdem sinnvoll benutzt werden. Mit ihr kann festgestellt werden, wie gut oder sinnvoll die Ergebnisse sind. Dabei wird die y-Komponente einfach in das homogene Gleichungssystem eingesetzt und damit ein Residuum berechnet. Wenn dieses Residuum größer als ein bestimmter sehr kleiner Prozentsatz (z. B. 1% oder auch wesentlich kleiner) des gesamten Objektumfanges beträgt, wird eine Fehlermeldung und das Residuum ausgegeben. Es entspricht etwa der Abweichung in der Projektion in der aktuellen Einheit. Der Objektumfang ist hierbei als ‘‘Länge+Breite+Höhe’’ definiert. Der Fehler kann drei verschiedene Ursachen haben:

- entweder wurden die Objektpunkte nicht genau genug vermessen und dem System eingegeben,
- oder das Gleichungssystem ist für die gegebenen Objektpunkte besonders schlecht konditioniert,
- oder die Auswahl der eingegebenen Punkte ist im benutzten Lösungsraum nicht sinnvoll.

Die genaue Eingabe der 6 Raumpunkte ist natürlich essentiell. Die genaue Vermessung ist jedoch nicht immer möglich. Wenn z. B. LED's als Leuchtpunkte verwendet werden, so ist eine Vermessung kaum besser als auf 0.5 mm genau möglich. Bei einem 500 mm langen Referenzobjekt ist dies immerhin schon ein Fehler von 1%.

Die Gleichungssysteme für die Transformationsmatrizen mit 11 Gleichungen sind grundsätzlich relativ schlecht konditioniert. Dies kann auch mit der Ausgabe des Hadamart’schen Konditionsmaßes überprüft werden. Dies liegt daran, daß sich die Hauptdiagonalenelemente je nach Objektpunktlage um bis zu 8 Größenordnungen unterscheiden. Nichtsdestoweniger werden die Gleichungen in der Regel jedoch trotzdem sehr genau gelöst, was an den Residuen ersichtlich ist, die ebenfalls ausgegeben werden können. Versuche zeigten, daß die Genauigkeit kaum leidet, wenn nur mit einfacher Genauigkeit, d. h. mit nur 7 Nachkommastellen, gerechnet wird. Trotzdem werden alle internen Berechnungen mit doppelter Genauigkeit ausgeführt. Bei Unklarheit kann es sinnvoll sein, die Kondition der Gleichungssysteme auch durch eine kleine Variation der 6 Raumpunkte zu testen. Hierzu kann z. B. ein Wert um

einen kleinen Faktor geändert werden, neue Matrizen bestimmt werden, eine Rekonstruktion durchgeführt werden, und schließlich die Veränderung in den Koordinaten des 6. Punktes beurteilt werden. Wenn sehr kleine Eingangsänderungen große Änderungen in den Ergebnissen bewirken, so kann man davon ausgehen, daß die Gleichungssystem besonders schlecht konditioniert sind und es empfiehlt sich, andere Raumpunkte zu verwenden oder die Kameraorte leicht zu verändern.

Die Auswahl der 6 Raumpunkte des Objektes ist nicht trivial. Ein Objekt ist zwar schon durch Angabe dreier Punkte im Raum festgelegt. Bei der Behandlung des Projektionssystemes mit zwei Kameras in Stereoanordnung muß man jedoch beachten, daß es wesentlich mehr Freiheitsgrade gibt. Daher läßt sich das System auch nur mit 12 bekannten Größen lösen, nämlich den x- und y-Koordinaten der 6 bekannten Bildpunkte pro Abbild. Es lassen sich nun leicht Punktkonstellationen konstruieren, bei denen das System, das ja nur 11 dieser Größen benutzt, zu einer mathematisch richtigen, allerdings unsinnigen Lösung kommt. Leider können z. Zt. jedoch nicht konkrete Regeln zur Punktdefinition gegeben werden. Die Punkte sollten jedoch möglichst unabhängig voneinander sein, d. h. wenn drei Punkte eine Ebene definieren und die restlichen drei Punkte durch eine Parallelverschiebung dieser Ebene gebildet werden können, so ist das in der Regel eine eher ungünstige Konstellation. Als weiterer Anhaltspunkt mag gelten, daß die Peilstrahlen der Referenzpunkte von den Kameras aus gesehen mindestens einen Winkel von 5 Grad zueinander aufweisen sollten, um das sogenannte Phänomen der schleifenden Schnitte zu vermeiden.

Wesentlich besser ist es, wenn ein Referenzobjekt (oder auch direkt das Meßobjekt) mit mehr als 6 genau bekannten und vermessenen Raumpunkten gegeben ist. Dann können durch eine Least-Square-Approximation nach Gauss kleine Fehler der Kalibrationsmarker herausgefiltert werden. Hierdurch führt diese Methode zu deutlich genaueren Ergebnissen als die spezielle 6-Marker-Methode. Außerdem lassen sich dann auch Fehlervektoren bestimmen, die bei genügender Anzahl von Kalibrierpunkten sogar eine Aussage über deren Genauigkeit machen. Erfahrungsgemäß sollte man dazu allerdings deutlich mehr als 6 Marker zur Verfügung haben, z. B. 16 oder mehr. Je größer die Anzahl der Kalibriermarker, desto genauer wird die Kalibrierung auch bei kleinen Meßfehlern bei der Vermessung der einzelnen Kalibriermarker sein. Wenn einzelne Fehlervektoren sehr groß sind, dann deutet das darauf hin, daß die dazu gehörenden Kalibriermarker fehlerhaft vermessen wurden. Bei Anwendung dieser Methode mit mehr als 6 Markern wird die spezielle Fehlerüberprüfung über Konvergenzkriterien und die y-Komponente des 6. Punktes nicht genutzt, da die Fehlerbestimmung über die Fehlervektoren wesentlich sinnvoller ist.

Nach der Bestimmung der Transformationsmatrizen wird nun in der Regel das Referenzobjekt aus dem Meßvolumen herausgenommen und das Meßobjekt eingebracht. Auf diesem werden nun beliebige neue Punkte definiert (normalerweise mindestens 3 Punkte oder mehr für eine Lagebestimmung) und mit der Marker-Tracking-Funktion verfolgt. Wenn statt der Verwendung eines speziellen Referenzobjektes die benutzten Referenzpunkte schon auf dem zu vermessenden Objekt liegen, können diese natürlich auch beibehalten werden, so daß eine Neueingabe entfällt. Mit den zuvor bestimmten Transformationsmatrizen werden aus den Abbildern der Marker in beiden Kamerabildern dann die tatsächlichen Raumkoordinaten der Punkte rekonstruiert. Dies ist jedoch nur in einigen Fällen interessant, z. B. wenn man die Verbiegung von Bauteilen prüfen will. Oft will man jedoch die Lageänderung und Drehung des Meßobjektes vermessen. Der Schluß von den Raumpunktkoordinaten zur tatsächlichen Lage und Drehung eines Objektes ist jedoch nicht trivial und läßt sich mit nur 3 bekannten Punkten nicht eindeutig lösen. Wenn jedoch kleine Einschränkungen gemacht werden, so ist das Problem lösbar. So muß erstens sichergestellt sein, daß das Objekt sich um nicht mehr als einen Winkel von 180 bzw. 90 Grad aus seiner ursprünglichen Lage verdreht, je nach Art des benutzten Drehungsmodells. Außerdem darf keiner der drei Punkte exakt im Koordinatenursprung des Referenzkoordinatensystemes liegen, welches ja durch den Kalibrierkörper festgelegt wurde.

Die Vorgehensweise des Programmes ist dann folgendermaßen: 3 Raumpunkte bestimmen eine Ebene im Raum. Aus den Koordinaten der Raumpunkte und dem Normalenvektor dieser Ebene kann eine drehungsunabhängige Gleichung erstellt werden, mit der ein vierter Punkt bestimmt werden kann, der nicht auf der Ebene liegt. Hierzu wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit der originale Koordinatenursprung genommen (das ist übrigens auch der Grund, warum keiner der 3 Punkte im Ursprung liegen darf). Nach einer Drehung und Verschiebung der 3 Raumpunkte kann mit dieser Gleichung die Lage des ebenfalls verschobenen vierten Punktes bestimmt werden, der nun natürlich nicht mehr im Koordinatenursprung liegt. Sein Abstand zum ursprünglichen Koordinatenursprung ist die tatsächliche Verschiebung oder Translation des Meßobjektes. Wenn diese Translation in x, y, und z-Richtung bekannt ist, kann die Drehung des Objektes durch eine einfache Drehung des Koordinatensystemes bestimmt werden. Hierzu muß lediglich eine 3x3-Drehungsmatrix bestimmt und gelöst werden. Das Lösen dieser Drehungsmatrix ist leider wiederum nicht trivial, da hierbei trigonometrische Funktionen vorkommen, die bei großen Drehungen zweideutig sind. Daher wird hier die maximale Drehung um jede Achse auf 180 Grad oder in bestimmten Fällen auch auf 90 Grad begrenzt, je nach benutztem Drehungssystem. Dies ist sicherlich eine in den meisten Fällen zulässige Bedingung, die unter normalen Umständen nicht verletzt wird. Besondere Beachtung muß auch der Tatsache beigemessen werden, daß zum Lösen der Gleichungen bei bestimmten Drehungssystemen arcsin- und arccos-Funktionen benutzt werden. Diese Funktionen weisen eine starke Ungenauigkeit auf, wenn ihre Argumente in der Nähe von 1.0 liegen. Hier können leicht Fehler von mehr als 5 Grad auftreten. Daher wird versucht, bei der Berechnung in diesem Fall intern andere Gleichungen aufzustellen und zu verwenden, wodurch solche Probleme in manchen Fällen verhindert werden können.

Für alle diese Berechnungen ist das Koordinatensystem als Rechtssystem definiert. Im Windkanal (hierfür wurden die Tracking-Funktionen in erster Linie ausgelegt) sind die Achsen dann z. B. wie folgt definiert: x-Achse in Kanalachsenrichtung nach vorne, y-Achse nach links, z-Achse nach oben.

Drehungsmodell

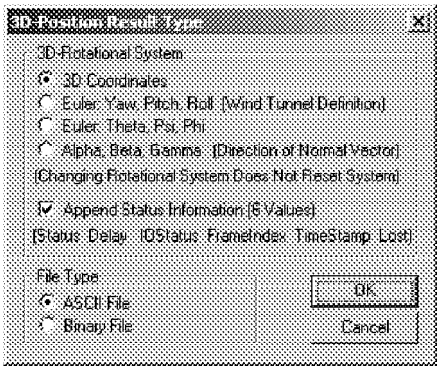
Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Drehungen zu Beschreiben (siehe Auch Bronstein, Ref. 3). Der auf den ersten Blick einfachste Fall ist die Drehung nacheinander um alle Achsen. Dies ist in der Ausführung jedoch nicht trivial, da sich durch die Drehungen die Achsenrichtungen ändern, d. h. nach einer Drehung um die z-Achse liegen y- und x-Achse nicht mehr in ihrer ursprünglichen Lage. Wie soll dann aber gedreht werden? Um die ursprüngliche x-Achse, oder um die neue x-Achse? Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit verschiedene Drehungsmodelle definiert, die sinnvolle Drehungsdarstellungen erlauben. Ein sehr bekanntes ist z. B. das Modell der Euler-Winkel. Hierbei wird üblicherweise in folgender Reihenfolge gedreht (auch andere Definitionen der Eulerwinkel sind möglich):

- Einstellung des Nutationswinkels, d. h. es wird um die y-Achse gedreht
- Einstellung der Präzession, d. h. es wird um die ursprüngliche z-Achse gedreht
- Einstellung der Drehung, d. h. es wird um die dann wieder veränderte neue z-Achse gedreht.

Für die Beschreibung einer Drehung im Windkanalkoordinatensystem erscheint dieses Modell aus bestimmten Gründen als nicht sehr sinnvoll. Daher wurde hier das folgende Yaw/Pitch/Roll-Drehungsmodell definiert:

- Drehung um die z-Achse (Gier oder Yaw-Achse), zugelassen ist der Bereich: -180 < Yaw < 180 Grad
- Drehung um die neue y-Achse (Nick- oder Pitch-Achse), zugelassen ist der Bereich: -90 < Pitch < 90 Grad (bis +-180 Grad kann eventuell nach genauerer Prüfung freigegeben werden)
- Drehung um die neue x-Achse (Roll-Achse), zugelassen ist der Bereich: -180 < Roll < 180 Grad

Beide Drehungssysteme sind implementiert und haben sicherlich ihre sinnvollen Anwendungsfälle. Defaultmäßig wird die Drehung relativ zum ursprünglichen Koordinatensystem des Referenzkörpers bestimmt. Zu jeder Zeit können additive Korrekturfaktoren für die Translation eingegeben werden, die das Objekt auf einen neuen Koordinatenursprung in beliebiger Lage setzen können. Eine zusätzliche Drehung kann z. Zt. allerdings noch nicht angegeben werden - bei Bedarf wenden Sie sich bitte an das Entwicklungsteam.



Zusätzlich kann auch noch ein weiteres Drehungsmodell verwendet werden, nämlich die Angabe der Winkel der Flächennormale der durch die drei Raumpunkte aufgespannten Ebene relativ zu den drei Achsen, x, y, und z. Sie werden als Alpha, Beta und Gamma bezeichnet und sind über die Richtungskosini definiert, d. h. die Kosini der Winkel zwischen der zu beschreibenden Richtung und den positiven Koordinatenachsen. Weitere Drehungsmodelle können auf Wunsch implementiert werden.

Natürlich können auch einfach nur die Koordinaten der 3D-Punkte bestimmt und ausgewertet werden. Hier können dann auch sehr viele, praktisch beliebig viele, Punkte gleichzeitig vermessen werden. Dies ist natürlich auch die einzig sinnvolle Methode, wenn Objekte untersucht werden, die nicht starr sind. Hier würde eine Lage- und Drehungsbestimmung mit 3 Punkten unsinnig sein.

Achtung: eine Änderung des Drehungsmodelles bewirkt keinen Reset der Objektposition! Die interne Referenz bleibt erhalten und man kann zum Test beliebig oft das System ändern!

Initialisierung der 3D-Rekonstruktion

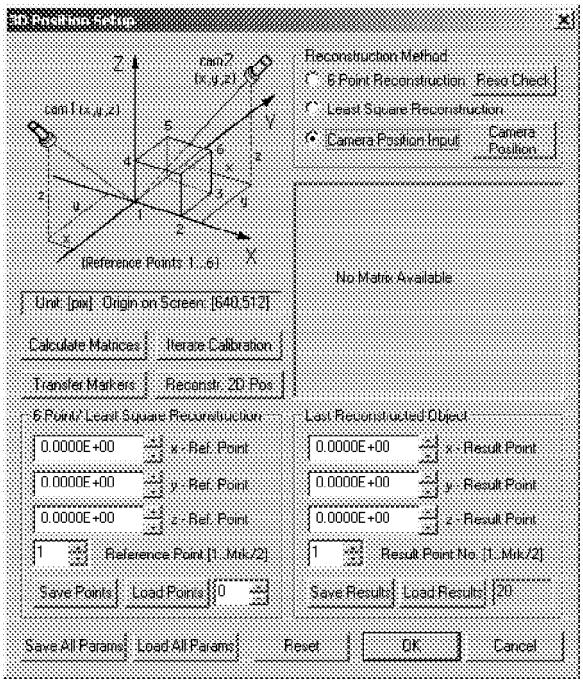
Zur Initialisierung der 3D-Rekonstruktion werden Eingaben in der "3D-Position Parameter"-Dialogbox gemacht. Wie bereits im Kapitel "Grundlagen" erwähnt, gibt es grundsätzlich drei Verfahren, die Transformationsmatrizen zu bestimmen, die Eingabe der genauen Kameraposition oder die Bestimmung über genau 6 oder über mehr als 6

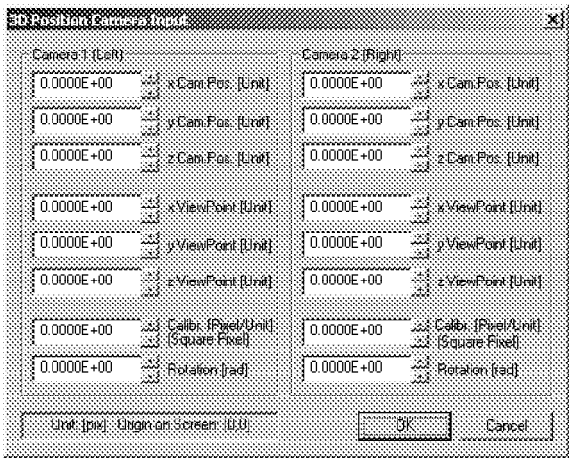
bekannte Raumpunkte. Lediglich für Testzwecke wurde im 2D/3D-Tracking-Menü mit der Funktion "(3D Alternative Input)" noch eine weitere Eingabemöglichkeit geschaffen: Hierbei werden die Kamerapositionen über die Eingabe ihrer Translationen und Drehungen sowie über die Eingabe der Projektionsebene und des Projektionsabstandes definiert. Diese Eingabe ist jedoch nur für Testzwecke vorgesehen.

Verfahren A: Kamerapositionen und -blickwinkel sind bekannt

Dieses Verfahren ist das - zumindest theoretisch - geradlinige und einleuchtende Verfahren. Leider ist es selten anwendbar, da die genauen Positionen der Kameras und noch mehr die Blickrichtungen und die Rotation um die optische Achse der Kameras selten genau genug bekannt sind. Als erstes wird die Eingabe einer Unit im Calibration-Menü, z. B. [m], [mm] o.a., empfohlen.

- Öffnen der ‘‘3D-Camera Position Setup’’ Dialogbox:





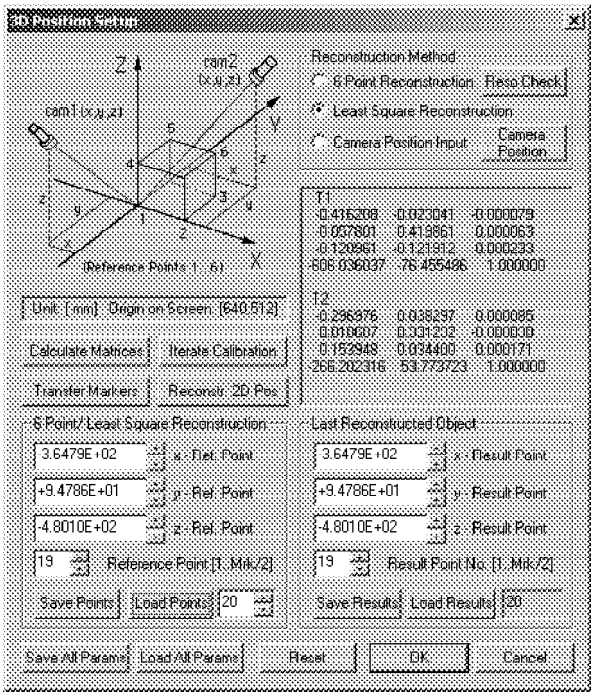
- Schalter ‘‘Camera Position Input’’ (rechte Seite oben) einschalten
- Mit dem Taster "Camera Position" die Dialogbox ‘‘3D-Camera Position Setup’’ Öffnen und Eingabe von:
- x,y,z-Positionen für Kameras 1 und 2 (Blenden-Ebene)
- x,y,z-Positionen für den Blickpunkt (View Point oder Center of Interest) der beiden Kameras. Dieser Punkt ist problematisch, da der View Point normalerweise nicht sehr genau bestimmbar ist. Prinzipiell liegt der View Point auf der optischen Achse in der scharf eingestellten Bildebene der Kamera.
- Kalibrierfaktoren in der ViewPoint-Ebene für beide Kameras in [Pixel/Unit]. Die ViewPoint-Ebene ist eine Ebene senkrecht zur optischen Kameraachse, die durch den zuvor eingegebenen ViewPoint geht. Diese Kalibrierfaktoren gelten gleichzeitig für die x- und y-Richtung des Bildes, also nur für quadratische Pixel. Die Einheit [Unit] ist die zuvor im "Calibration"-Menü eingegebene Einheit.
- Rotation der Kameras um ihre optische Achse (in Radianten, Rechtssystem). Dieser Punkt ist ebenfalls problematisch, da es kaum gelingt, die Rotation der Kameras mit der erforderlichen Genauigkeit anhand der Kameragehäuseposition zu vermessen.
- Camera-Box schließen und Transformationsmatrizen berechnen mit der ‘‘Calculate Matrices’’-Schaltfläche

Nach der Eingabe sollten einige genau vermessene Referenzpunkte unbedingt zur Überprüfung als 2D-Projektion auf den Bildschirm gezeichnet werden (wenigstens 3 Punkte, die nicht auf einer Linie liegen). Mögliche Abweichungen von den tatsächlichen Orten in den von den Kameras eingelesenen Referenzbildern können mit manuell geänderten View Point-Koordinaten und einer zusätzlichen Eingabe einer Kameradrehung über ‘‘Trial and Error’’ korrigiert werden. Dies kann ein recht langwieriger Prozess sein, der jedoch bei genügend Ausdauer zum Erfolg führen kann. Schließlich gibt es nicht allzuviele Freiheitsgrade. Selbstverständlich ist dieses iterative Eingabeverfahren nicht besonders überzeugend und wohl auch nicht so genau. Es empfiehlt sich daher, wenn möglich das Verfahren B mit genau 6 bekannten Referenzpunkten oder noch besser das Verfahren C mit mehr als 6 Referenzpunkten zu benutzen.

Verfahren B: Eingabe von 6 Referenzpunkten mit 12 Markerpositionen

Wenn ein Referenzobjekt (oder auch direkt das Meßobjekt) mit 6 genau bekannten und vermessenen Raumpunkten gegeben ist, führt diese Methode schnell und einfach zu recht genauen Ergebnissen.

- Vor dem Öffnen der ‘‘3D-Position Setup’’ Dialogbox:
  - Empfohlen: Eingabe einer Unit im Calibration-Menü, z. B. [m], [mm], o. a.
  - Weitere Parameter im ‘‘Marker Parameter’’-Menü für die Eingabe der 12 Markerabbilder auswählen.
  - 12 Markerpositionen (von 6 bekannten Raumpunkten/Referenzpunkten) in zwei Teilbildern/Vollbildern (je nach Split Screen / Two Screen-Einstellung) mit der ‘‘Define Markers’’-Funktion interaktiv bestimmen (dabei gleiche Reihenfolge in beiden Teilbildern beachten!).
  - Ein Test-Tracking durchführen, um alle internen Variablen zu belegen, um zu prüfen, ob die Referenzmarker alle eingestellten Zurückweisungskriterien erfüllen und ob die Such-ROIs richtig liegen.
  - Eventuell eine Adaption an die genauen Lichtverhältnisse durchführen, wodurch die Grauwertschwelle und auch die Größe der gesuchten Marker optimiert wird.



- Dialogbox ‘‘3D-Position Setup’’ Öffnen
- Schalter ‘‘6 Point Reconstruction’’ (rechte Seite oben) einschalten
- 6 Raumpunkte in die Floating-Point-Eingabefelder auf der linken Seite mit x,y,z-Koordinaten in der zuvor gewählten Einheit eingeben. Die Raumpunkte müssen in der gleichen Reihenfolge eingegeben werden, wie sie beim Definieren der Marker in beiden Teilbildern angewählt worden waren. Andernfalls kann das System eine richtige Zuordnung aller Punkte und Marker nicht durchführen. Für einen eventuellen späteren Gebrauch können die 6 Referenzpunkte abgespeichert werden. Es wird dann ein ASCII-File mit der automatischen Extension .O3D (für Objekt-3D) geschrieben, der bei Bedarf mit einem beliebigen Editor geändert werden kann.
- Schalter ‘‘Transfer (Calibration) Markers’’ betätigen (Hierzu müssen unbedingt zuvor die 12 Markerpositionen mit der Funktion ‘‘Define Markers’’ nach dem weiter oben angegebenen Schema eingegeben worden sein. Ein zusätzliches einwandfreies Test-Tracking ist in der Regel von Vorteil).
- Transformationsmatrizen berechnen mit der ‘‘Calculate Matrices’’-Schaltfläche. Sie erhalten nun eine Anzeige der berechneten Koeffizienten der Transformationsmatrizen im rechten Bereich der Dialogbox. Wenn während der Berechnung der Matrizen Fehler auftauchen oder Ungenauigkeit gemeldet wird, so sollte man die Raumpunkte und Markerpositionen überprüfen.
- Die Referenzobjektlage, die 12 Markerpositionen, und die Transformationsmatrizen können mit dem Schalter "Save all Parameters" auf einen binären File mit der Extension .P3D (für Parameter-3D) abgespeichert werden. Dies empfiehlt sich jedoch erst nach Überprüfung der kompletten Einstellung (siehe unten).
- Verlassen Sie die Dialogbox

Verfahren C: Eingabe von mehr als 6 Referenzpunkten (Gauss-Approx.)

Wenn ein Referenzobjekt (oder auch direkt das Meßobjekt) mit mehr als 6 genau bekannten und vermessenen Raumpunkten gegeben ist, führt diese Methode zu deutlich genaueren Ergebnissen als die 6-Marker-Methode, da durch eine Least-Square-Approximation nach Gauss kleine Fehler der Kalibrationsmarker herausfallen. Erfahrungsgemäß sollte man deutlich mehr als 6 Marker zur Verfügung haben, z. B. 16 oder mehr. Je größer die Anzahl der Kalibriermarker, desto genauer wird die Kalibrierung auch bei kleinen Meßfehlern bei der Vermessung der einzelnen Kalibriermarker sein. (Es gelingt dann sogar, Fehlmessungen einzelner Kalibriermarker festzustellen)

- Vor dem Öffnen der ‘‘3D-Position Setup’’ Dialogbox:
  - Empfohlen: Eingabe einer Unit im Calibration-Menü, z. B. [m], [mm], o. a.
  - Weitere Parameter im ‘‘Marker Parameter’’-Menü für die Eingabe der Markerabbilder auswählen.
  - Die Markerpositionen (von mehr als 6 bekannten Raumpunkten/Referenzpunkten) in zwei Teilbildern/ Vollbildern (je nach Split Screen / Two Screen-Einstellung) mit der ‘‘Define Markers’’-Funktion interaktiv bestimmen (dabei gleiche Reihenfolge in beiden Teilbildern beachten!).
  - Ein Test-Tracking durchführen, um alle internen Variablen zu belegen, um zu prüfen, ob die Referenzmarker alle eingestellten Zurückweisungskriterien erfüllen und ob die Such-ROIs richtig liegen.
  - Eventuell eine Adaption an die genauen Lichtverhältnisse durchführen, wodurch die Grauwertschwelle und auch die Größe der gesuchten Marker optimiert wird.

- Dialogbox ‘‘3D-Position Setup’’ Öffnen
- Schalter ‘‘Least Square Reconstruction’’ (rechte Seite oben) einschalten
- Mehr als 6 Raumpunkte in die Floating-Point-Eingabefelder auf der linken Seite mit x,y,z-Koordinaten in der zuvor gewählten Einheit eingeben. Dies kann auch über das Einlesen eines ASCII-Files mit der Extension .O3D geschehen, in dem zuerst die Gesamtanzahl und dann die x,y,z-Koordinaten der Marker stehen. Die Raumpunkte müssen in der gleichen Reihenfolge eingegeben werden, wie sie beim Definieren der Marker in beiden Teilbildern angewählt worden waren. Andernfalls kann das System eine richtige Zuordnung aller Punkte und Marker nicht durchführen. Für einen eventuellen späteren Gebrauch können die Referenzpunkte abgespeichert werden. Es wird dann ein ASCII-File mit der automatischen Extension .O3D (für Objekt-3D) geschrieben, der bei Bedarf mit einem beliebigen Editor geändert werden kann und auch wieder eingelesen werden kann.
- Schalter ‘‘Transfer (Calibration) Markers’’ betätigen (Hierzu müssen zuvor die Markerpositionen mit der Funktion ‘‘Define Markers’’ nach dem weiter oben angegebenen Schema eingegeben worden sein).
- Transformationsmatrizen berechnen mit der ‘‘Calculate Matrices’’-Schaltfläche. Sie erhalten nun eine Anzeige der berechneten Koeffizienten der Transformationsmatrizen im rechten Bereich der Dialogbox. Wenn während der Berechnung der Matrizen Fehler auftauchen oder Ungenauigkeit gemeldet wird, so sollte man die Raumpunkte und Markerpositionen überprüfen. Es werden dann auch die Fehlervektoren aller Kalibrier-Marker angegeben. Anhand der Größe dieser Fehlervektoren kann entschieden werden, ob die Kalibrierung gut und sinnvoll ist. Es sollte möglichst kein Fehlervektor größer als die gewünschte Genauigkeit sein. Allerdings kann man davon ausgehen, daß die System-Genauigkeit besser sein wird als die Meßgenauigkeit der Kalibriermarker, wenn genügend Kalibriermarker zur Verfügung stehen und die Meßfehler nicht systematisch, sondern zufällig verteilt sind.
- Die Referenzobjektlage, alle Markerpositionen, und die Transformationsmatrizen können mit dem Schalter "Save all Parameters" auf einen binären File mit der Extension .P3D (für Parameter-3D) abgespeichert werden. Dies empfiehlt sich jedoch erst nach Überprüfung der kompletten Einstellung (siehe unten).
- Verlassen Sie die Dialogbox

Kalibrierung mit Kalibrierkörper (6 oder mehr als 6 Referenzpunkte)

Für die Kalibrierung des Systemes nach Verfahren B oder C bietet es sich an, ein Referenzobjekt mit 6 oder besser mehr gut sichtbaren und möglichst exakt vermessenen Raumpunkten aufzubauen und für alle Kalibrierungen und auch für die ersten Testmessungen zu verwenden. Ein solches Referenzobjekt (Kalibrierkörper) könnte z. B. ein mattschwarz lackierter sehr verwindungssteifer Drahtquader sein, an dessen Ecken und eventuell auch Mittelseiten und anderen Orten sehr gleichmäßig leuchtende mattierte kugelförmige Glühlampen (wie z. B. die mattierte BRAWA 3256 Schraubbirne 16V/30mA, 8mm Durchmesser, auch mit 6mm erhältlich) oder bei kleineren Kalibrierkörpern auch weiße runde Stecknadelköpfe angebracht sind. Erfahrungsgemäß hat sich gezeigt, daß man mindestens 16 oder mehr Kalibriermarker anbringen sollte, um kleine Meßfehler der Kalibriermarker über die Least-Square-Methode (Verfahren C) ausgleichen zu können. Das Referenzobjekt sollte während der Kalibrierung in eine definierte Lage gebracht werden, so daß die vermessenen Raumpunkte mit dem gewünschten Koordinatensystem übereinstimmen. Oder anders formuliert: das Referenzobjekt definiert und bestimmt das Koordinatensystem, in dem

später gemessen wird und relativ zu dem alle Meßergebnisse berechnet werden. Dies gilt sowohl für die ermittelte Lage der einzelnen verfolgten und rekonstruierten Raumpunkte als auch für die Objektlage und -drehung eines beliebigen Objektes. Beim Objekt, das durch 3 Punkte gegeben ist, tritt jedoch eine Besonderheit auf: beim ersten Tracking der Marker wird die Objektlage zu (0,0,0,0,0,0) definiert. Es kann dann allerdings jederzeit eine neue Referenzposition (siehe unten) für das Objekt eingegeben werden, die dann als additive Korrektur relativ zur ursprünglichen, vom System bestimmten Lage hinzugefügt wird. Wenn also die Lage der einzelnen Raumpunkte nicht interessant ist, sondern nur die Lage und Drehung des Objektes, so ist die translatorische Anordnung des Referenzobjektes in gewissen vernünftigen Grenzen praktisch beliebig und kann so eingestellt werden, daß die Stereo-Kamerabilder optimal ausgenutzt werden.

Wenn Lampen als Kalibriermarker eingesetzt werden, so können diese natürlich ein- und ausgeschaltet werden. Dies kann dann auch von der Software aus gesteuert werden, wenn die Lampen über eine spezielle Ansteuerungselektronik an eine digitale I/O-Karte angeschlossen sind. Dies kann dazu genutzt werden, Kalibrierungen vollautomatisch in wenigen Sekunden ablaufen zu lassen. Entsprechende Kalibrierkörper sind lieferbar, und zugehörige MACRO-Programme zur Ablaufsteuerung sind verfügbar. Zum Selbstbau eines Kalibrierkörpers steht ein spezielles Handbuch zur Verfügung.

Iteration der Kalibrierung

Unter bestimmten Umständen kann eine Iteration der Kalibrierung sinnvoll sein: über die "Iterate Calibration"-Taste wird dann ein Single-Tracking gestartet und es werden die Ergebnisdaten (Result-Datensatz) dieser Messung in die Referenzdatensätze übertragen und es wird damit eine neue Kalibrierung durchgeführt. Dies ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Error-Vektoren der Kalibriermarker wirklich zufällig verteilt sind. Dies soll hier genauer erklärt werden: mit genau 6 Markern werden die 3D-Gleichungen exakt gelöst - die Kalibrierung ist dann genau so genau, wie die Vermessung der Kalibrierpunkte gemacht wurde. Mit mehr als 6 Markern werden die 3D-Gleichungen über einen Gauss-Algorithmus gelöst, und die kalibrierten Marker im Lösungssystem liegen dann so, dass die insgesamten Fehlerquadrate minimiert sind. Damit erhält man für alle Marker jeweils einen 3D-Error-Vektor, also seine Verschiebung zum jeweiligen Marker des Lösungssystemes der Gleichungen. Wenn man viele Kalibriermarker hat, dann wird man z. B. einen "fehlerhaft" vermessenen Marker leicht am großen Error-Vektor erkennen können. Die Reaktion hierauf sollte jedoch sein, diesen fehlerhaften Marker entweder zu korrigieren oder einfach nicht zu benutzen. Falsch ist es, hier nun eine Iteration zu machen, also das Ergebnis als neuen Input zu nehmen. Beispiel: wir haben 10 Marker, von denen 9 perfekt vermessen sind und nur einer einen um 10mm in x-Richtung zu grossen Wert hat. Im Ergebnis wird man sehen, dass nun die 9 perfekten Marker einen Error-Vektor von -1mm in x-Richtung haben und der fehlerhafte um +9mm. Wenn diese neuen Werte fuer eine neue Kalibrierung verwendet werden, werden die Error-Vektoren gegen Null gehen, denn nun stimmt ja alles relativ zueinander. Nur, und das kann picCOLOR nicht herausfinden, ist nun die Messung um etwa (-1)mm in x-Richtung falsch! Also, diese Iteration ist nur sinnvoll, wenn alle Error-Vektoren stochastich verteilt sind und keine allzu großen Fehler vorkommen.

Objektverfolgung mit 3 Markern

Wenn die Transformationsmatrizen für die 3D-Rekonstruktion ermittelt wurden, kann das Referenzobjekt aus dem Meßquerschnitt entfernt werden und es können beliebige Raumpunkte bestimmt werden, wenn ihre Abbildungen in beiden Kamerabildern sichtbar sind. Dies können wiederum Lampen oder LEDs sein, es können jedoch auch andere Marker sein, z. B. helle oder dunkle deutlich begrenzte kleine Flächen. Natürlich kann auch das schon vorhandene Referenzobjekt im Meßvolumen belassen und als Meßobjekt verwendet werden. Die Verfolgung und 3D-Rekonstruktion kann in Echtzeit geschehen, wenn nicht zu viele oder zu große Punkte gleichzeitig bestimmt werden müssen. Nur als kleines Beispiel kann hier angemerkt werden, daß auf einem modernen 3GHz PC ohne weiteres 20 kleine Marker bei gutem Kontrast bei einer Bildfolgefrequenz von 1000Hz in Echtzeit verfolgt und rekonstruiert werden konnten.

Im folgenden wird davon ausgegangen, daß nicht nur eine einfache 3D-Rekonstruktion der Einzelpunkte vorgenommen werden soll, sondern auch eine Messung der kompletten Objektlage mit Translation und Rotation um alle Achsen. Zur Definition neuer Marker setzen Sie neue Parameter im ‘‘Marker Parameter’’-Menü. Dies gilt zumindest für die Marker-Anzahl, da für eine anschließende Objektverfolgung üblicherweise nur 3 Punkte mit ihren 6 Markerabbildern in den beiden Stereobildern benutzt werden. Für die 3D-Rekonstruktion der Objektlage werden programmintern z. Zt. immer nur 3 Raumpunkte (die ersten drei, falls mehr als 3 definiert sind) benutzt. Allerdings können über die schon beschriebene Extrapolation aus den nächsten Nachbarpunkten auch andere Punkte im Verdeckungsfall eines der drei ersten Punkte zur Anwendung kommen Die folgenden Bedingungen für die Marker und ihre Lage müssen eingehalten werden:

- Aufgrund des verwendeten Algorithmus’ sollte möglichst keiner der drei Punkte im Ursprung des Referenzobjektes, d. h. des Kalibrierkörpers sitzen.

- Punkt 1 darf keinesfalls im Koordinatenursprung liegen. Der Ursprung ist hierbei der durch das Referenzobjekt definierte Ursprung, der natürlich durch physikalisches Versetzen oder mathematisches Umdefinieren des Referenzobjektes bei der Kalibrierung beliebig geändert werden kann.
- Die x-Komponenten von Punkt 1 und 3 dürfen nicht gleich sein, d. h. (Punkt3.x - Punkt1.x <> 0.0), da im Rahmen der Rekonstruktion durch diesen Wert dividiert wird.
- Die Marker müssen von beiden Kameras gut erkannt werden können und die Peilstrahlen von den Kameras zu den einzelnen Punkten sollten mindestens einen Winkelabstand von 5 Grad aufweisen.
- Im Hintergrund in der Nähe der Marker dürfen keine weiteren deutlich sichtbaren kontrastreiche Flächen auftreten, die die Markererkennung verhindern oder erschweren. D. h. bei hellen Markern sollten keine anderen hellen Stellen in der Nähe der Marker auftreten, außer es kann mit geeigneten Zurückweisungskriterien die einwandfreie und ausschließliche Erkennung der richtigen Marker garantiert werden.
- Die drei Marker sollten aus der Sicht mindestens einer der beiden Kameras deutlich ein Dreieck aufspannen. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, so wird der Winkel der Ebene, die durch die drei Punkte aufgespannt wird, nur recht ungenau bestimmt werden können. Der Winkelfehler bei dieser Ebenenbestimmung entspricht direkt dem Winkelfehler der Objektbestimmung. Außerdem sollte die durch die drei Punkte aufgespannte Ebene möglichst dicht am Koordinatenursprung liegen oder es sollte zumindest der Abstand der drei Punkte voneinander nicht wesentlich kleiner als der Abstand der Ebene zum Ursprung sein. Andernfalls wäre die Bestimmung der Objekt-Translation sehr ungenau, da diese über die Verschiebung des Ursprungsvektors bestimmt wird, der wiederum aus dem Normalenvektor der aufgespannten Ebene bestimmt wird. Bei großem Abstand der Ebene zum Ursprung würde der oben angesprochene Winkelfehler erhebliche Auswirkungen haben, nämlich in der Größenordnung: (Normalenvektorlänge der Ebene zum Ursprung)*(Winkelfehler der Ebene).

Nun definieren Sie die 3 neuen Marker in den Teilbildern der beiden Kameras mit der "Define Marker"-Funktion durch Anklicken mit der Maus. Dies muß auch geschehen, wenn es die gleichen, zur Initialisierung benutzten Marker sind, da sich die Anzahl (z. B. von 16 Punkten des Referenzobjektes auf nur noch 3 Meßpunkte) geändert haben wird. Nur, wenn alle Punkte der Kalibrierung beibehalten werden, ist eine Neudefinition nicht notwendig. Dies ist möglich und bewirkt lediglich eine leichte Geschwindigkeitseinbuße, da dann eben z. B. 16 Punkte verfolgt werden müssen. Die Genauigkeit wird dadurch nicht erhöht, da nur die ersten drei Punkte zur Rekonstruktion verwendet werden. Hier sind in Zukunft Erweiterungen denkbar, die mit einer Least-Square-Methode die Genauigkeit durch die Messung von mehr als drei Punkten verbessern könnten.

Die ursprünglichen oder die neu definierten Marker können dann mit der Tracking-Funktion verfolgt werden. Wenn der Schalter ‘‘3D-Reconstruction’’ in der ‘‘Marker Parameters’’-Dialogbox eingeschaltet ist, werden die Koordinaten der Raumpunkte rekonstruiert und je nach Einstellung auch die Objektlage und -drehung bzw. deren Änderung bestimmt. Das Ergebnis kann angezeigt, an andere Programme versendet oder auf einen offenen Datenfile abgespeichert werden. Beim ersten Tracking nach einer neuen Markerdefinition, oder nach einer der folgenden Aktionen werden Objektlage und -drehung auf (0,0,0,0,0,0) gesetzt:

- nach neuer Berechnung der Transformationsmatrizen ("Calculate Matrices" in "3D-Position Setup"-Dialogbox)
- nach Aufrufen der "New 3D-Position (Reset)"-Funktion)
- nach Erzwingen einer Initialisierung der Objektlageparameter. (siehe "Set Reference Position"-Dialogbox)

Dabei entspricht der Nullpunkt des Objektes dem Koordinatenursprung des Kalibrierkörperkoordinatensystemes. Um diesen Nullpunkt wird die Drehung definiert. Dies kann natürlich zu auf den ersten Blick seltsamen Translationen führen, wenn sich z. B. ein relativ kleines Objekt, daß sich recht weit weg vom Ursprung befindet, um sich selbst dreht: in diesem Fall würde der Nullpunkt des Objektes um dieses herumrotieren. Abhilfe zu diesem sicherlich nicht erwünschten Problem ist einfach: verschieben Sie einfach den Nullpunkt des Objektes an einen sinnvollen Ort innerhalb desselben mit der Referenz-Positions-Funktion.

Bei diesem jeweils ersten Tracking zur Initialisierung darf kein Fehler auftreten, da sonst die Referenzlage nicht sinnvoll bestimmt wird und dann alle folgenden Daten ebenfalls unsinnig sind. In diesem Fall muß der Fehler behoben werden und das System reinitialisiert werden ("New 3D-Position (Reset)"-Funktion). Der Fehlerfall kann z. B. folgendermaßen behoben werden: durch manuelle Adaption an die aktuellen Lichtverhältnisse, wodurch die Grauwertschwelle und eventuell auch die Größe aller Marker angepaßt wird oder durch Abschalten oder Ändern der Zurückweisungskriterien der Marker, oder, wenn das alles nicht hilft, durch Neudefinition der Marker.

Die Objektlage wird dann über die zuvor eingestellte Schnittstelle (File, DDE, TCP/IP o.a.) übertragen, kann aber auch mit der Funktion "Show Object Position" aus dem Menü abgefragt werden. Die jeweils zuletzt rekonstruierten Einzelpunktkoordinaten werden intern auf ein Variablenfeld abgelegt, das in der 3D-Position-Setup-Dialogbox auf der rechten Seite inspiziert werden kann. Man hat dort die Möglichkeit, beliebig viele verschiedene Testpunkte anzuwählen und ihre Koordinaten zu überprüfen. Durch die Paralleldarstellung der Referenzpunkte auf der linken Seite und der Ergebnispunkte auf der rechten Seite hat man auch die Möglichkeit des direkten Vergleichs, wenn z. B. die Punkte des Referenzobjektes zum Test der Transformationsmatrizen verfolgt wurden. Die Koordinaten aller

Einzelpunkte können immer, unabhängig von der Einstellung des Ausgabetyps (des Drehungsmodells), per DDE oder TCP/IP übertragen werden.

Wenn für die Null-Position des Objektes statt der Initialisierungs-Referenzlage (0,0,0,0,0,0) eine andere Lage gewünscht ist, so kann dies nach erfolgreicher Initialisierung mit der zusätzlichen 3D-Position-Reference-Dialogbox (siehe unten) durchgeführt werden.

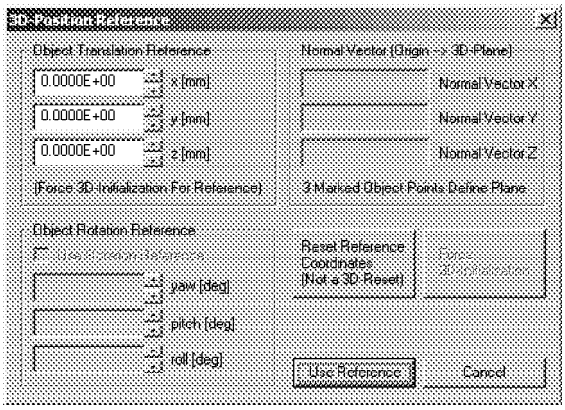
Neu-Initialisierung der Objekt-3D-Position (Reset)

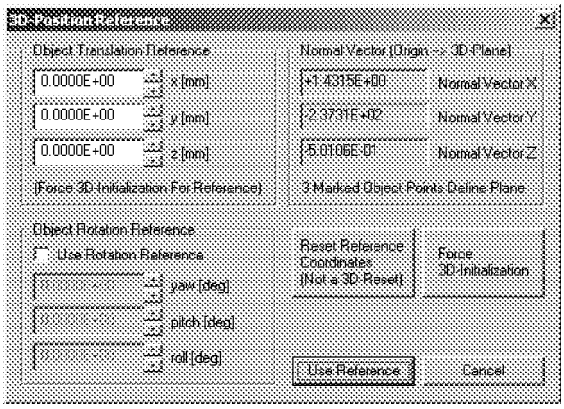
Beim ersten Tracking und der dazugehörenden 3D-Rekonstruktion nach einer Markerdefinition werden die internen Variablen besetzt und die Lage des Objektes im aktuellen Drehungssystem bestimmt. Wichtigste Variable sind z. B. die Koordinaten des Normalenvektors der Ausgangsebene durch die 3 Punkte zum Koordinatenursprung des Referenzobjektes (Kalibrierkörper). Diese Objektlage ist immer eine Referenzlage mit den Koordinaten x=0, y=0, z=0 und einer Drehung von 0 um alle Achsen. Ausgehend von dieser Null-Position werden in allen folgenden Bestimmungen die Abweichungen von dieser Lage ermittelt. Die Drehung wird dabei um den Koordinatenursprung des Referenzsystemes durchgeführt. Unabhängig hiervon kann mit der unten angeführten Funktion eine gewünschte Referenzposition definiert und eingestellt werden.

Bei nicht einwandfreiem Tracking während des ersten sogenannten "Referenz-Trackings" wird dann natürlich diese Null-Referenz-Position nicht korrekt bestimmt. Zur Behebung dieses Fehlers dient die Neu-Initialisierung der Objektposition, entweder über die "New 3D-Position (Reset)"-Funktion oder über den "Force 3D-Initialization"-Schalter in der 3D-Position-Reference-Dialogbox.

Objekteinstellung auf Referenzposition

Die 3D-Objektverfolgungsfunktion gibt die Objektlage in der Form einer Translation und einer Drehung an. Nach einer Neudefinition der Marker (oder nach einer neuen Berechnung der Transformationsmatrizen oder nach Aufrufen der "New 3D-Position (Reset)"-Funktion) wird diese Lage als Objekt-Ausgangslage angesehen und das nächste folgende Tracking der neuen Marker ergibt die Objektlage: x=0, y=0, z=0, Gierwinkel=0, Nickwinkel=0, Rollwinkel=0. Mit der Funktion "3D-Reference Position" kann jedoch danach auch eine beliebige additive Ausgangsverschiebung eingestellt werden, natürlich immer im durch das Referenzobjekt definierten Koordinatensystem.



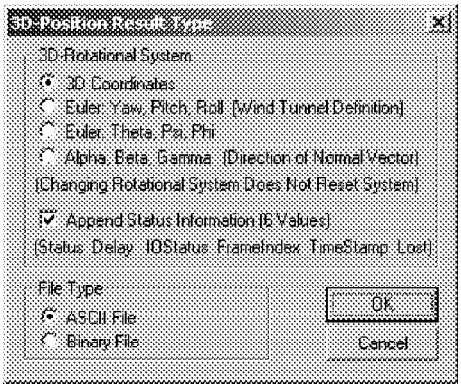


Beim Öffnen dieser Dialogbox gibt es zwei Möglichkeiten: entweder wurde zuvor eingestellt, daß lediglich 3D-Koordinaten aller Marker berechnet werden, dann erhält man nur die Einstellmöglichkeiten wie im linken Bild oben dargestellt. Oder man hat ein bestimmtes Drehungsmodell gewählt, dann erhält man die Einstellungen wie auf der rechten Seite. Während die Eingabe einer Referenzposition bei der einfachen 3D-Koordinatenbestimmung trivial ist - es werden die eingegebenen x,y,z-Werte als neuer Koordinatenursprung genommen - ist die Eingabe bei eingestellter Objektlagebestimmung mit einem Drehungssystem etwas komplizierter:

Die gewünschten Koordinaten werden in der 3D-Position Reference Dialogbox eingegeben und mit dem "Use Reference"-Schalter dem System übergeben. Wie schon bemerkt, werden alle diese Verschiebungen den berechneten Werten additiv hinzugefügt. Damit wurde also noch nicht der Koordinatenurprung geändert, sondern lediglich das Objekt innerhalb des Koordinatensystemes verschoben. Dies kann man bei einem neuen Trackingvorgang an den dann erhaltenen neuen xyz-Koordinaten überprüfen. Erst wenn eine neue Initialisierung der internen 3D-Objektlage-Variablen durchgeführt wird, wird ein neuer Normalenvektor der 3-Punkte-Ebene zum neu eingegebenen Koordinatenurprung bestimmt, der dann für alle nachfolgenden Lagebestimmungen verwendet wird. Diese notwendige neue Initialisierung kann mit dem "Force 3D-Initialization"-Taster erzwungen werden. Mit dem "Reset"-Schalter werden alle Werte auf 0.0 eingestellt und außerdem auch eine neue Initialisierung der Objektlageparameter erzwungen.

Die Eingabe einer speziellen Winkellage ist defaultmäßig abgeschaltet, da z. Zt. noch nicht entschieden ist, in welcher Form diese Eingabemöglichkeit zur Verfügung gestellt werden soll. Für Testzwecke kann sie eingeschaltet werden: die Winkel werden dann additiv den rekonstruierten Winkel hinzugefügt. Dies ist jedoch mathematisch nicht richtig und sollte wirklich nur für Testzwecke benutzt werden.

Ausgabetyp: 3D-Punkte / Objekt-Position (Yaw/Pitch/Roll, Euler-Winkel)

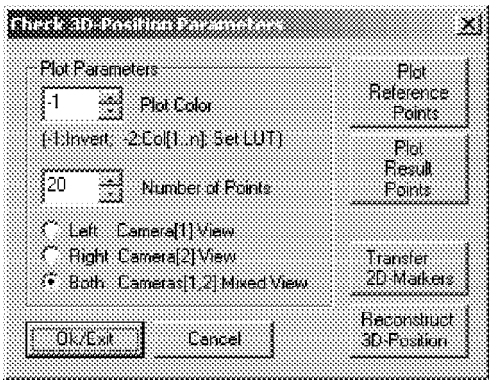


Defaultmäßig wird kein Drehungssystem benutzt, sondern es werden einfach nur die 3D-Koordinaten der Marker bestimmt und ausgegeben. Dies ist z. B. dann sinnvoll, wenn nicht ein Einzelobjekt verfolgt wird, sondern mehrere Objekte, die sich relativ zueinander bewegen können, oder auch ein Objekt, das seine Form ändern kann. Wahlweise kann jedoch auch eines der implementierten Drehungssysteme eingeschaltet werden. In der Regel wird man wohl das vorgeschlagene Yaw/Pitch/Roll-Modell benutzen, wie im Kapitel "Drehungsmodell" beschrieben. Wahlweise kann hier auch ein anderes Drehungsmodell benutzt werden. Z. Zt. sind hier zusätzlich das Euler-Winkel-Modell und das Alpha/Beta/Gamma-Richtungskosinus-Modell implementiert. Dieses letztere Modell wird programmintern zur Berechnung der Drehung benutzt. Die Winkel Alpha, Beta und Gamma sind hierbei die Winkel der Flächennormale der durch die drei verfolgten Raumpunkte aufgespannten Ebene relativ zu den positiven Koordinatenachsen. Nach Änderung der Einstellung muß ein neuer Tracking-Vorgang gestartet werden, bevor die mit der "Show Object Position"-Funktion ausgegebenen Werte der Objektlage gültig sind.

An den Ausgabe-String mit den x,y,z-Koordinaten und den drei Winkeln wird normalerweise noch der Error Code der Markersuche (hier nur der höchste Wert, also sozusagen der "schlimmste" Fehler aller Marker) angehängt und außerdem eventuell noch ein Zeitstempel. Mit dem Schalter "Append Status Information" kann noch weitere unterschiedliche Statusinformation angehängt werden. Z. Zt. ist hier implementiert, daß der Statuswert einer Hardware-Trigger- oder Enable-Leitung (0|1) der Digital-I/O-Karte angegeben wird und außerdem noch der aktuelle Abstand des Auswertezeigers im Bildaufnahme-Ringspeicher vom gerade aufgenommenen Bild. Dies kann als Anhaltspunkt dafür genommen werden, ob die Bildauswertung tatsächlich in Echtzeit ausgeführt wurde oder ob eine Verzögerung aufgetreten ist, z. B. aufgrund interner Windows-Funktionen, einem Warten auf die Graphikkarte, eine Netzwerkanforderung, oder die Festplatte o.ä.. Weiterhin erhält man hier den FrameIndex, das ist die Nummer des aktuellen Bildspeichers im Ring-Speicher, den Zeitstempel, und einen eventuellen Fehlerkode vom Frame Grabber (LostFrames).

Die Möglichkeit, die Daten nicht im normalen ASCII-Format, sondern im Binaer-Format abzuspeichern, kann bei sehr langen Messungen die Datenfiles erheblich verkürzen.

Graphische Testfunktionen zur Überprüfung der Transformationsmatrizen



Die Überprüfung der Transformationsmatrizen kann durch Darstellung der Referenzpunkte als 2D-Projektion auf dem Bildschirm mit den Funktionen der ‘‘3D Test’’-Dialogbox und der Überprüfung, ob die Punkte gut mit den tatsächlichen Referenzpunkten im Originalbild übereinstimmen, geschehen. Die hierzu benutzten Graphikfunktionen sind weiter unten beschrieben. Bei der Two-Screen-Konfiguration müssen die Punkte natürlich auf beiden zuvor definierten Stereo-Bildern dargestellt werden. Es werden kleine Kreisflächen mit wenigen Pixeln Durchmesser dargestellt, die natürlich nicht unbedingt in der Form den tatsächlichen Markerpunkten gleichen. Die Punkte, oder besser ihre Flächenschwerpunkte, müssen mit den zuvor bestimmten Markern in den Teilbildern übereinstimmen. Bei guter Übereinstimmung kann die Kalibrierung als erfolgreich bezeichnet werden und man kann dann den kompletten 3D-Parametersatz als Datenfile (Extension ist .P3D für Parameter 3D) mit der ‘‘Save All Parameters’’-Funktion in der 3D-Dialogbox abspeichern. Je nach verwendetem Verfahren (A: Kamerakoordinateneingabe, B: genau 6 bekannte Kalibrierpunkte, C: mehr als 6 Kalibrierpunkte) sind hierbei bestimmte Randbedingungen zu beachten:

A) Bei der direkten Eingabe aller Kameraparameter wird man nach dem ersten Kalibrierversuch sehr wahrscheinlich große Abweichungen der Originalmarker und der rekonstruierten Marker feststellen. Wenn hier genauere Übereinstimmung gewünscht ist, kann man mit den Geometrieparametern spielen und neue Transformationsmatrizen bestimmen. Besonders die Rotation der Kameras und der View-Point sind Größen, die kaum genau zu bestimmen sind und die man daher gegebenenfalls zur Korrektur der Kalibrierung verändern kann.

B) Bei der 6-Punkte-Kalibrierung sollte man besonders auf die Lage des 6. Raumpunktes achten: Bei schlechter Übereinstimmung des 6. Punktes liegt üblicherweise ein Fehler in der Referenzpunkteingabe vor. In diesem Fall überprüfen und korrigieren Sie bitte alle (nicht nur die des 6. Punktes) eingegebenen 3D-Punktkoordinaten in der Dialogbox und berechnen neue Transformationsmatrizen. Durch das exakte Lösen der Gleichungen für 5 Punkte und die x-Bildschirm-Koordinate des 6. Punktes können die Fehler nur in der y-Bildschirmkoordinate des 6. Punktes auftreten. Das bedeutet jedoch in der Regel nicht, daß der Eingabefehler im 6. Punkt gemacht worden ist: es können alle Punkte falsche oder unexakte Koordinaten aufweisen. Wenn der Fehler sehr groß wird, so wird während der Berechnung der Transformationsmatrizen eine Fehlermeldung ausgegeben. Diese Fehlermeldung kann über die "Resolution"-Dialogbox gesteuert werden. Wenn Sie bei einer testweisen Variation der Referenzpunktkoordinaten feststellen, daß bei sehr kleinen Änderungen in der Lage der Referenzpunkte sehr starke Abweichungen der resultierenden Punkte, speziell des 6. Punktes, ergeben, dann ist die Lage der Referenzpunkte schlecht gewählt und das Gleichungssystem ist extrem schlecht konditioniert. Man sollte dann andere Referenzpunkte verwenden. Oft hilft auch eine Lageänderung der Kameras. Als Richtwert kann angenommen werden, daß die Peilstrahlen von jeder Kamera zu den einzelnen Punkten mindestens einen Winkelabstand von 5 Grad aufweisen sollten.

C) Bei der Least-Square-Approximation nach Gauss mit mehr als 6 Kalibriermarkern wird eine Überprüfung in der Regel nicht benötigt, wenn die Fehlervektoren klein genug waren. Allerdings ist es sehr gut möglich, über die Darstellung der Punkte einzelne fehlerhaft eingegebene Punkte zu finden. Diese sollten jedoch auch schon in der Fehlervektorendarstellung aufgefallen sein.

Zum Test der Rekonstruktionsfunktionen wurden die Funktionen ‘‘Plot Reference-Points’’, ‘‘Plot Result-Points’’, ‘‘Transfer Markers’’ und ‘‘3D-Reconstruction’’ im rechten Teil der ‘‘Check 3D-Position-Parameters’’-Dialogbox zur Verfügung gestellt:

Plot Reference Points

Die Funktion ‘‘Plot Reference-Points’’ stellt die in der 3D-Position-Setup-Dialogbox auf der linken Seite eingegebenen Referenzpunkte als 2D-Projektion mit Hilfe der Transformationsmatrizen auf dem Bildschirm dar, z. Z. allerding nur im aktiven Bildspeicher, nicht auf beiden Stereo-Bildern. Defaultmäßig werden beide Projektionen dargestellt, d. h. die Bilder aus der Sicht beider Kameras. Über die Schalter ‘‘Left View (Cam1)’’, ‘‘Right View (Cam2)’’ und ‘‘Both Views’’ kann jedoch auch eingestellt werden, daß die Projektion nur einer der beiden Kameras dargestellt werden.

Die Plot-Farbe (Grauwert/Pixelwert) kann hierzu gewählt werden. Der aktuelle Bildspeicher wird dabei verändert und kann mit ‘‘Undo’’ restauriert werden. Wenn als Plot-Color der Wert (-1) gewählt wird, so wird nur auf dem Bildschirm invertiert, ohne den Bildspeicher zu verändern. Wenn der Wert (-2) eingestellt ist, so wird den Punktdarstellungen als Grauwert die Nummer des Raumpunktes gegeben, d. h. Punkt 1 wird mit dem Grauwert 1 gezeichnet, Punkt 2 mit dem Grauwert 2 usw. Wenn nun eine sinnvolle Look-Up-Table-Einstellung vorgenommen wird (z. B. ‘‘First16’’ in der LUT-Dialogbox), so bekommt der Pixelwert 1 die Farbe Rot, der Pixelwert 2 die Farbe Grün usw., so daß eine Unterscheidung sehr einfach möglich wird. Wenn sich Punkte überdecken, kann mit der Funktion ‘‘No. of 3D-Points’’ eingestellt werden, wieviele Punkte überhaupt dargestellt werden, immer beginnend mit Punkt 1.

Achtung: Wenn Sie die Positionen nicht durch lokales Invertieren des aktuellen Bildschirminhaltes darstellen sondern durch direktes Plotten in den Bildspeicher, sollten Sie die ursprünglichen Bilder jeweils wieder mit der ‘‘U’’-(=Undo)-Taste restaurieren.

Plot Result Points

Hier können die zuletzt bestimmten, d. h. rekonstruierten, Raumpunkte als 2-dimensionale Projektion dargestellt werden. Dies sind die Punkte, die auch in der 3D-Position-Setup-Dialogbox auf der rechten Seite inspiziert werden können. Hier können auch manuell testweise beliebige Punktkoordinaten eingegeben werden, die dann in 2-dimensionaler Projektion gezeichnet werden können. Über die Schalter ‘‘Left View (Cam1)’’, ‘‘Right View (Cam2)’’ und ‘‘Both Views’’ kann eingestellt werden, ob die Projektion nur einer Kamera oder beider Kameras dargestellt werden sollen.

Die Plot-Farbe (Grauwert/Pixelwert) kann wie oben im Abschnit "Plot Reference Points" beschrieben gewählt werden.

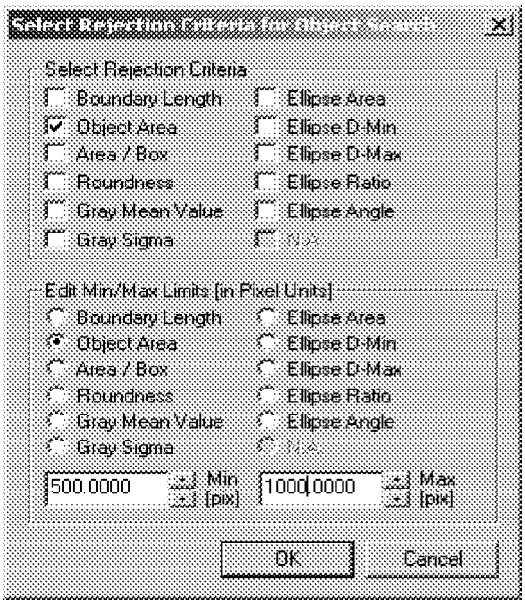
Transfer Marker Images / 3D-Reconstruction

Diese beiden Funktionen dienen zur manuellen Überprüfung der Transformationsmatrizen, wenn der Schalter ‘‘3D-Reconstruction’’ in der ‘‘Marker Parameters’’-Dialogbox ausgeschaltet ist und normalerweise keine Rekonstruktion vorgenommen wird.

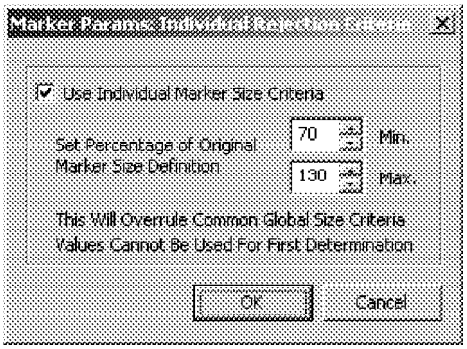
Mit der Funktion ‘‘Transfer Markers’’ werden die zuvor mit der Funktion ‘‘Define Markers’’ manuell bestimmten Marker oder die mit der Funktion ‘‘Single Tracking’’ (prinzipiell auch mit ‘‘Continuous Tracking’’) automatisch bestimmten Markerpositionen in die dafür vorgesehenen Variablen der 3D-Rekonstruktionsrechnung übertragen (ähnlich wie mit dem Schalter ‘‘Transfer (Calibration) Markers’’ in der 3D-Camera-Position-Dialogbox). Danach kann dann manuell eine 3D-Rekonstruktion mit der Funktion ‘‘3D-Reconstruction’’ durchgeführt werden. Die Anzahl der zu rekonstruierenden Raumpunkte wird wie beim Plotten ebenfalls mit der Funktion ‘‘No. of 3D-Points’’ eingestellt.

Anhang

Suchkriterien für Marker

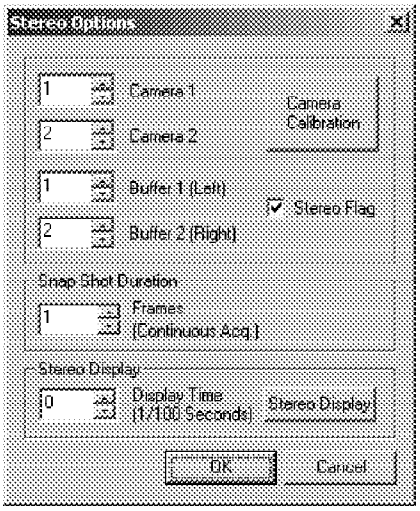


Während des Trackings werden die Marker in kleinen Such-ROIs (Regions of Interest) verfolgt, um so eine sehr hohe Auswertegeschwindigkeit zu erreichen. Wenn sich mehrere Marker in einer Such-ROI befinden, kann das System natürlich nicht entscheiden, welcher Marker der "Richtige" ist. Es wird dann der ErrorCode 6 ausgegeben und keine Markerbestimmung durchgeführt. Die Marker werden über die normale picCOLOR-Objektsuchfunktion erkannt. Hier können verschiedene Zurückweisungskriterien eingegeben werden. Durch geschickte Wahl der Markerform und Markergröße kann in der Regel erreicht werden, daß diese sich in ihren Merkmalen eindeutig von Störungen im Bild (z. B. Licht-Reflektionen, Schraubenköpfe o.ä.) unterscheiden und dann mit Hilfe der eingegebenen Zurückweisungskriterien sicher unterschieden und erkannt werden können. Einfachster Fall ist die Markergröße, die z. B. in der oben dargestellten Dialogbox ("Measurement/Geometry/Objects") mit 500..1000 Pixelflächen angegeben ist. Hier ist zu beachten, daß die minimalen und maximalen Werte derart gewählt werden, daß auch bei leicht geänderter Beleuchtung oder bei Winkeländerungen des beobachteten Objektes und damit leichter Vergrößerung oder Verkleinerung der Markerabbilder eine sichere Zuweisung möglich ist. Bei kreisrunden und auch bei elliptischen Markern hat sich auch das "Roundness"-Kriterium gut bewährt. Bei richtiger Zuweisung wird dann nur noch der gewünschte Marker in der Such-ROI gefunden und die Auswertung kann zuverlässig durchgeführt werden. Zusätzliche Zurückweisungskriterien können auf Wunsch implementiert werden, wenn diese der allgemeinen Verbesserung des picCOLOR-Programmes dienen.



Alle mit der normalen Objektsuchfunktion eingestellten Zurückweisungskriterien gelten global für alle Marker. Da dies nicht in allen Fällen erwünscht ist, wurden auch individuelle Zurückweisungskriterien implementiert. Z. Zt. ist jedoch nur eine prozentuale Größenprüfung implementiert. Hier können Min/Max-Werte in Prozent der ursprünglichen Pixelfläche (bei der Definition) des jeweiligen Markers eingegeben werden. Achtung: wenn hier die Benutzung eingeschaltet ist, wird das globale Zurückweisungskriterium "Object Area" intern während der Echtzeit-Markersuche nicht mehr verwendet, sondern nur noch das individuelle Kriterium.

Stereo- oder Split-Screen-Bildübernahme



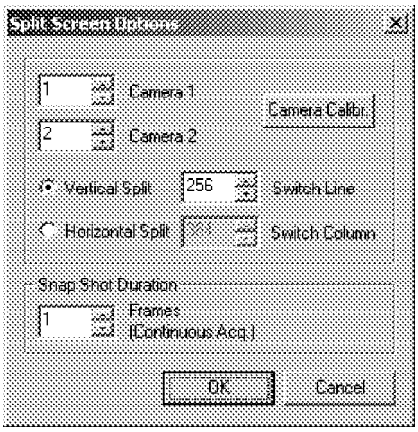
Zur Stereo-Bildübernahme von 2 Vollbildern in der Two-Screen-Konfiguration müssen die beiden zu benutzenden Stereo-Bildspeicher in der ‘‘Stereo Options’’-Dialogbox oder in der ‘‘Marker Parameter’’-Dialogbox eingestellt werden. Außerdem muß hier auch das ‘‘Stereo-Mode’’-Flag eingeschaltet werden. Die Stereo-Options-Dialogbox findet sich an mehreren Stellen im Programm, so z. B. im ‘‘Control-Panel’’-Menü , aber auch im "Acquire"-Menü direkt oder noch besser innerhalb der "Camera Selection"-Dialogbox. In letzterer funktioniert das über den ‘‘StereoOptions’’-Schalter, der sich nur betätigen läßt, wenn entweder Two-Screen oder Split-Screen-Stereo gewählt wurde. Für eine automatische Stereobildübernahme muß nämlich eine dieser Einstellungen eingeschaltet sein. Die eingegebenen Bildspeichernummern gelten für alle Bildarten, d. h. normale Grauwertbilder, Echtfarbbilder und auch für Bildsequenzen. Hierbei muß beachtet werden, daß die gewünschten Speicher auch existieren. Wenn also 2 normale Bildspeicher existieren, kann hier das Stereo-Flag eingeschaltet werden. Wenn man danach auf den Sequenzbildspeicher umschaltet, es davon jedoch nur einen gibt, dann wird picCOLOR automatisch das Stereo-Flag wieder ausschalten. picCOLOR wird versuchen, beim Zurückschalten auf die normalen Bildspeicher das Stereo-Flag auch wieder einzuschalten, wenn hierfür genügent Information zur Verfügung steht.

Wenn nun in der ‘‘Acquire’’-Dialogbox ein Einzelbild übernommen wird (mit ‘‘Snap-Shot’’) so wird automatisch ein Stereo-Bild beider Kameras in die Stereo-Bildspeicher geschrieben. Wenn die Funktion "Continuous" aus dem "Frame Grabber Acquisition"-Menü aufgerufen wird, so wird eine kontinuierliche Stereobildübernahme gestartet. Wenn zwei Sequenz-Bildspeicher aktiv sind, dann werden die Stereo-Bildsequenzen automatisch in diese geschrieben. Dabei wird der Sequenzspeicher entweder nur einmal gefüllt oder er wird in der Art eines Ringspeichers immer wieder gefüllt, je nach Einstellung des "Ring Buffer"-Flags in der Sequenz-Bildaufnahme-Dialogbox. Hierbei wäre es übrigens möglich, auf Anfrage auch eine LCD-Shutterbrille zur echten Stereoansicht anzusteuern. Bitte sprechen Sie bei Bedarf mit den Entwicklern.

Bei einigen älteren Frame Grabbern richtet sich die Dauer der kontinuierlichen Aufnahme nach der Einstellung der "Frames (Continuous Acq.)"-Variable, hier unter Umständen mit doppelter Zeitkonstante im Vergleich zur Split-Screen-Einstellung, da jeweils zwei Vollbilder für ein Stereobild eingelesen werden müssen. Dies hängt davon ab, ob die eingesetzte Bildeinlesekarte in der Lage ist, zwei Kamerabilder gleichzeitig einzulesen oder nicht.

Natürlich kann man die Stereo-Bildübernahme für absolut statische Bildinhalte auch einfach manuell aus der ‘‘Acquire’’-Dialogbox steuern, indem man den Bildspeicher für die erste Kamera einstellt, ein Bild mit Kamera 1 übernimmt, die Dialogbox verläßt, den Bildspeicher für das zweite Bild aktiviert, wieder die Dialogbox öffnet und dort mit der zweiten Kamera das zweite Bild übernimmt. Diese Möglichkeit kann z. B. dann sinnvoll sein, wenn eine oder zwei Spezialkameras etwa über die TWAIN-Schnittstelle angeschlossen sind und daher (in der Regel) keine automatische Stereo-Bildübernahme möglich ist.

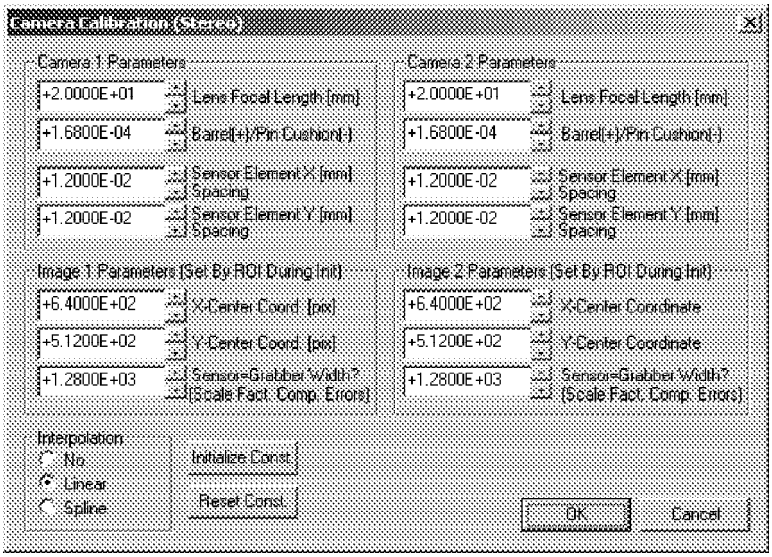
Die Split-Screen-Bildaufnahme eignet sich nur für sehr spezielle Fälle, z. B. wenn extrem Speicherplatz gespart werden muß und daher nur kleine Teilbilder übernommen werden sollen, wenn der Frame Grabber nur einen gemultiplexten Video-Eingang besitzt oder wenn aus bestimmten Gründen nur eine einzige Kamera zur Verfügung steht. Im letzteren Fall wird man mit einem speziellen Spiegel-Arrangement arbeiten, um gleichzeitig Ansichten von unterschiedlichen Blickrichtungen aufnehmen zu können. Es gibt Firmen, die solche Spiegelsysteme anbieten. Split-Screen-Einstellungen zur Aufnahme der Bilder zweier Kameras in einen einzigen Bildspeicher können mit dem ‘‘Split-Screen’’-Menü gewählt werden. Die Bildübernahme erfolgt dann wie üblich über die Frame Grabber Acquisition Dialogbox.



Für die ältere picCOLOR V2.17-Karte steht die horizontale und die vertikale Split-Screen-Methode zur Verfügung, für die CORECO F64P-Karte und die IDS-Falcon/Eagle-Kartenserie nur die vertikale Konfiguration, d. h. die Teilbilder liegen übereinander. Für weitere Frame Grabber wurde eine Split-Screen-Einstellung noch nicht getestet. Es kann jedoch angenommen werden, daß viele Frame Grabber mit mehreren Eingängen hierfür geeignet sind, wenn spezielle Kamerakonfigurationsfiles erstellt wurden. Die Scan-Linie, bei der von Kamera 1 auf Kamera 2 umgeschaltet wird, ist lediglich für analoge Kameras einzustellen. Sie ist in weiten Grenzen einstellbar. Bei digitalen Frame Grabbern sollte es möglich sein, beide Bilder komplett zu übernehmen. Hierzu besteht allerdings noch keine Erfahrung und es wird wohl auch nur in ganz speziellen Fällen sinnvoll sein, dieses Verfahren zu nutzen. Je nach eingesetzter Bildeinlesekarte muß eventuell die Dauer der kontinuierlichen Bildübernahme mit der Variable ‘‘Frames (Continuous Acq.)’’ eingestellt werden. Eine Einheit ist hierbei eine Bildperiode, d. h. bei CCIR 40 ms. Bei "Frames"=25 werden dann also genau eine Sekunde lang Vollbilder übernommen. In der Regel ist dieser Wert jedoch nicht relevant und die Bildübernahme kann in der Acquisition-Dialogbox mit "Continuous" gestartet und mit "Freeze" wieder gestoppt werden.

TSAI Kamera-Kalibrierung

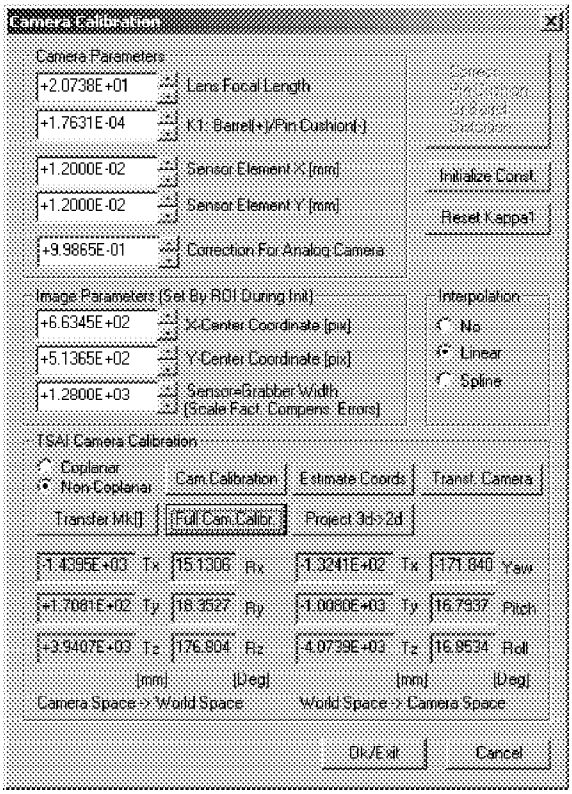
In der Regel wird das TSAI-Kamerakalibrationverfahren in picCOLOR nur für die Entzerrung des Bildes aufgrund der optischen Kamera- bzw. Objektivparameter benutzt. Aus der Split-Screen- oder Stereo-Dialogbox heraus kann man in die CameraCalibration-Dialogbox wechseln, in der Werte für die Objektivbrennweite, die Kissen- oder Tonnen-Verzerrung (kappa), die Größe der Sensor-Elemente und weitere Parameter eingegeben werden können. Die Entzerrung kann im picCOLOR-Programm grundsätzlich auf das ganze Bild angewandt werden, benoetigt dann jedoch relativ viel Zeit. Für eine Echtzeitauswertung wird die Entzerrung daher nur für die relevanten 2-dimensionalen Datenpunkte im Bild durchgeführt, nämlich für die Flächenschwerpunkte der Marker, dann jedoch subpixelgenau. Die korrigierten Werte werden dann zur weiteren Berechnung der 3D-Daten benutzt.



Für diese Bildkorrektur wird nur eine Teilmenge der Funktionen des TSAI-Kameramodelles genutzt. Die Entzerrungskorrekturdaten werden über ein bestimmtes MACRO-Programm bestimmt, das auf Wunsch zur Verfü-

gung gestellt wird. Hierzu werden Bilder eines regelmäßigen Gittermusters der Kameras benötigt. Bei der Aufnahme solcher Bilder muß beachtet werden, daß das Gitter-Bild exakt senkrecht zur Kamera- bzw. Objektivachse arrangiert wird. Eine leichte Verdrehung um diese Achse bis etwa 1 oder 2 Grad ist jedoch kein Problem. Wenn solche Bilder zur Verfügung gestellt werden, dann werden gerne die zugehörenden Verzerrungswerte bestimmt.

Das komplette TSAI-Kameramodell ist jedoch auch in picCOLOR implementiert und kann genutzt werden, um sowohl die Verzerrung der Kamerabilder als auch die Weltkoordinaten der Kameras zu bestimmen.



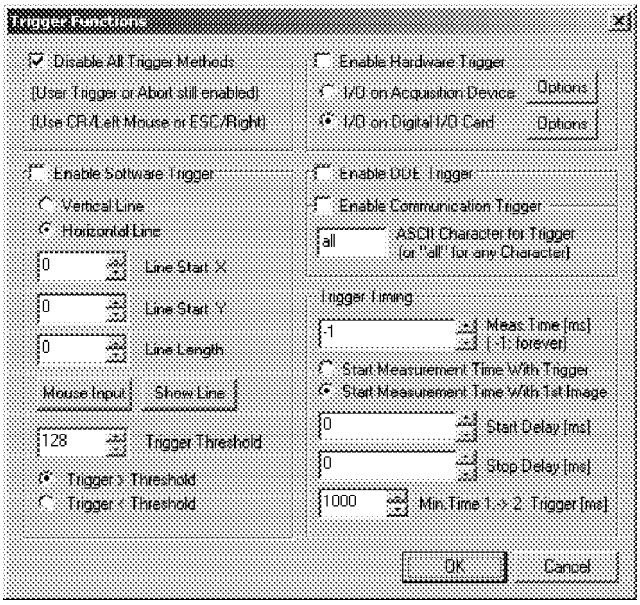
Hier soll nur ganz knapp darauf eingegangen werden: Nach einer Kalibration mit Referenzmarkerpunkten stehen diese dem System zur Verfügung. In der Regel sind diese im Raum verteilt. Es wird dann eingegeben, daß sie "Non-Coplanar" verteilt sind. Außerdem muß die Sensor-Element-Größe und eine eventuelle Skalierung in Zeilenrichtung im Frame Grabber angegeben werden. Als Ergebnis erhält man dann die Objektivbrennweite (Lens Focal Length), den kappa-Wert (positiv = Tonnen-, negativ = Kissenverzerrung), und auch die Abweichung der Lage der Optischen Achse auf dem Sensor vom Zentrum (in pixel-Größen).

Zur Berechnung aller dieser Parameter wird das gewünschte Bild aktiviert, d. h. das linke oder rechte Stereo-Teilbild, dann werden mit dem Schalter "Transfer Mk[]" die Marker für dieses Bild in die TSAI-Berechnungsvariablen übertragen. Danach wird eine normale "CameraCalibration" oder besser eine "Full CameraCalibration" gestartet. Nach dem TSAI-Kameramodell (siehe R. Tsai, Ref. 4 und 5) werden dann automatisch alle Parameter bestimmt: Brennweite, Verzerrung, tatsächliche Koordinaten des Sensors. Außerdem wird die Lage und Richtung der Kamera im "Kamera-Raum" und im "Welt-Koordinatensystem" bestimmt. Die gefundenen Werte können mit dem "Transfer Camera"-Schalter in die Camera-Position-Input-Matrix der 3D-Rekonstruktion überführt werden, wo sie theoretisch für eine neue Kalibrierung nach dem Verfahren "A", d. h. der Kamerapositionseingabe zur Verfügung stehen. Diese Möglichkeit ist allerdings noch nicht vollständig implementiert.

Event Trigger

Bei einer Echtzeitmessung ist es nicht nur wichtig, mit einer bestimmten Geschwindigkeit zu messen, sondern auch, die Messung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beginnen und zu beenden. Hierzu stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, teilweise abhängig von der eingesetzten Hardware.

Der einfachste Fall ist die Triggerung über eine Benutzereingabe, etwa einen Druck auf die linke Maustaste oder auf die RETURN-Taste. Oft wird man über ein Signal auf einer digitalen Input-Leitung triggern wollen. Man kann den Start einer Messung jedoch auch softwaremäßig durch ein anderes Programm steuern, z. B. über die DDE-Schnittstelle, oder sogar extrem flexibel gesteuert durch den aktuellen Bildinhalt. So kann z. B. definiert werden, daß die Messung beginnt, wenn an einer bestimmten Stelle im Bild eine kleine Lampe aufleuchtet.



Standardmäßig sind alle Triggermethoden außer der Maus- oder Tastatureingabe abgeschaltet. Dann wird die Messung nach Aufruf der "Continuous Tracking"-Funktion im Menü oder im "Tool"-Fenster nach Anklicken der linken Maustaste oder der RETURN-Taste gestartet und nach Drücken der rechten Maustaste oder der ESC-Taste wieder beendet. Dies ist der einfachste Fall und für viele interaktive Meßvorgänge möglicherweise ausreichend.

Wenn die Messung jedoch entweder auf externe Vorgänge synchronisiert werden soll oder durch andere Programme auf dem gleichen Computer oder sogar von fremden Computern im Netzwerk gestartet werden soll, so muß die entsprechende Triggerart gewählt und eingeschaltet werden. Z. Zt. gibt es folgende Auswahlmöglichkeiten:

- **Software Trigger:** Triggerung durch einen Event, der im Bild durch Helligkeitsänderung festgestellt werden kann. Die picCOLOR-Software kann (mit der eingestellten Bildfrequenz) ständig eine bestimmte Stelle im Bild beobachten und bei einer voreingestellten Schwellenüberschreitung die Messung starten und wieder stoppen. Wie aus der Dialogbox ersichtlich ist, kann dabei entweder eine horizontale Linie oder eine vertikale Linie beobachtet werden. Die Lage und Länge der Linie kann zahlenmäßig oder über die Definition einer Linie mit der Maus durchgeführt werden. Die Triggerung kann bei Über- oder Unterschreiten einer Grauwertschwelle erfolgen. Mit dem Befehl "Show Line" kann man sich die aktuell definierte Linie ansehen. Die Triggerung erfolgt, wenn mindestens zwei aufeinanderfolgende Punkte auf der Linie die Triggerbedingung erfüllen. Hierdurch werden Triggerfehler durch Rauschen oder durch Pixelfehler der Kamera verhindert.

- **Hardware-Trigger:** Über eine digitale I/O-Leitung kann ein Signal gegeben werden, das vom picCOLOR-Programm abgefragt wird. In der Regel werden dies TTL-Signale sein, die entweder den Wert High oder Low (für 5Volt oder 0Volt) haben können. Bei Eignung der Bildeinlesekarte, d. h. wenn die Bildeinlesekarte solche I/O-Leitungen besitzt, kann hier die Leitungsnummer und Triggerpolarität eingestellt werden. Unterstützt werden außerdem digitale I/O-Karten der Firmen Keithley und Dynamic Industries. Z. Zt. wird hier noch keine Interrupt-Triggerung unterstützt. Vielmehr wird die Leitung vom picCOLOR-Programm ständig abgefragt (Polling). Dies ist in der Regel kein Nachteil, da picCOLOR sich vor einer Messung sowieso in Wartestellung befindet und beliebig schnell die Leitung abfragen kann, und da zum Starten oder Beenden eines Trackings ja nicht während einer Bildaufnahme abgefragt werden muß, sondern eine Abfrage einmal pro Bildlaufzeit völlig ausreichend ist. Hierzu müssen die Impulse natürlich lang genug sein, d. h. mindestens eine Bildlaufzeit.

- **Triggerung über die DDE- oder TCP/IP-Schnittstelle:** Wenn eine DDE-Verbindung von einem anderen Program zum picCOLOR-Programm aufgebaut wurde, so kann durch die Übertragung eines Charakters die Messung gestartet und wieder abgebrochen werden. Der benutzte Charakter kann eingestellt werden. Wenn der Wert (-1) oder "all" eingegeben wird, so werden alle beliebigen Zeichen zur Triggerung akzeptiert.

- **Triggerung über den Hardware COM-Port:** Die Übertragung eines Charakters kann allerdings auch über eine serielle Schnittstelle (COM-Port) geschehen. Dieser muß zuvor geöffnet worden sein. Der benutzte Charakter kann eingestellt werden. Wenn (-1) oder "all" eingegeben wird, so werden alle beliebigen Zeichen zur Triggerung akzeptiert.

In der Regel sollte nur eine dieser Triggerarten gleichzeitig aktiv sein. Lediglich die interaktive Eingabe (Maus/ Tastatur) ist standardmäßig immer gleichzeitig aktiv, um wenigstens im Notfall einen Abbruch zu ermöglichen. Es sollte also nicht z. B. mit der Hardware-Triggerung gestartet werden und dann mit der Software-Triggerung wieder gestoppt werden. Es kann jedoch z. B. mit der Hardware-Triggerung gestartet werden und später z. B. mit der ESC-Taste gestoppt werden. Es gibt einige Ausnahmen bei der DDE-Triggerung: auch wenn die DDE-Triggerung nicht eingeschaltet ist, kann bei aktivierter DDE-Schnittstelle eine Messung mit dem HotKey-Kommando "RETURN" oder "A" gestartet werden und mit "ESC" oder "E" gestoppt werden, da hierbei lediglich die interaktive RETURN- oder ESC-Taste durch die DDE-Schnittstelle simuliert wird.

In den neuesten Versionen des picCOLOR-Programmes wird zugelassen, daß mehrere Triggerarten gleichzeitig aktiv sind. Diese Möglichkeiten sind allerdings noch nicht komplett ausgetestet und sollten mit Vorsicht benutzt werden.

Da mit der gleichen Triggerung sowohl der Start als auch das Ende einer Messung festgelegt werden kann, kann es bei nicht flankengetriggerten Signalen zu Problemen kommen. Wenn eine aufleuchtende Lampe im Bild den Meßbeginn auslöst, könnte die Lampe, wenn sie im nächsten Bild immer noch eingeschaltet ist - d. h. bei CCIR-Signal also etwa 40ms später - die Messung wieder beenden. Das ist natürlich in der Regel nicht erwünscht. Daher wurde eine Wartezeit definiert, innerhalb derer keine Triggerung akzeptiert wird. Diese wird in der Dialogbox im "Min. Time 1.->2. Trigger"-Feld in Millisekunden eingestellt. Die maximale Eingabe ist dabei 32767 ms, also mehr als 32 Sekunden. Innerhalb dieser Zeit muß die Triggerbedingung, die zum Start der Messung geführt hatte, wieder verschwinden, d. h. die Lampe im Bild muß ausgegangen sein oder das Hardwaresignal muß zurückgegangen sein. Diese Wartezeit ist defaultmäßig auf 1 Sekunde eingestellt.

Weiterhin können zwei Delay-Zeiten eingestellt werden, die die Triggerung für Meßbeginn und Meßende für eine bestimmte Zeit zurückhalten. Während dieser Wartezeit (aus Echtzeitgründen z. Zt. nur bei Meßbeginn) wird eine Notiz in der Statuszeile angezeigt. Die Wartezeiten werden als Start-Delay und als Stop-Delay in der Dialogbox eingegeben, ebenfalls in Millisekunden. Maximale Eingabe ist hier etwas über 200,000,000 ms, also 200,000 Sekunden oder knapp 60 Stunden. Die Begrenzung ergibt sich aus der programm-internen Zeitdarstellung mit 32Bit-Integerzahlen und einer intern benutzten Zeitauflösung von 1/10 ms.

Schließlich kann auch eine Meßzeit eingestellt werden, nach der die Messung automatisch abgebrochen wird. Dieser Abbruch ist abgeschaltet, wenn die Meßzeit als (-1) für unendlich eingegeben wird. Dies ist auch die Defaulteinstellung. Die Maximale Meßzeit beträgt wie bei den Delay-Zeiten 200,000,000 ms oder knapp 60 Stunden. Die Meßzeitnahme beginnt entweder bei Triggerung oder nach Aufnahme des ersten Bildes. Diese Einstellmöglichkeit kann sinnvoll werden, wenn die Messung asynchron zur Kameraausgabe interaktiv oder per DDE gestartet wird, die tatsächliche Messung jedoch erst mit einem Enable-Signal für die Kamera beginnen soll. Hierbei muß man allerdings darauf achten, daß zwischen Triggerung und tatsächlichem Meßbeginn keine allzulange Zeitspanne liegt. Sonst könnte z. B. der Frame Grabber einen TimeOut-Fehler erzeugen. Die maximale Wartezeit kann über den WaitTimeOut-Wert in der Acquisition-Configuration-Dialogbox eingestellt werden, ist jedoch stark hardwareabhängig.

Für die drei letzteren Funkionen (minimale Wartezeit, Delay-Zeiten und Meßzeit) muß der picCOLOR-interne High Resolution Timer eingeschaltet und verwendbar sein. Überprüfen Sie dies und seine möglichst hohe Frequenz in der "Configuration"-Dialogbox im "Control-Panel".

Synchronisation

Neben der Triggerung zum Start und Stopp einer Messung ist auch die Synchronisation der Meßzeiten auf andere parallel durchgeführte Messungen sehr wichtig. Man kann in der Regel nicht davon ausgehen, daß z. B. eine Kamera ihre Bildfrequenz exakt über längere Zeiträume einhält. Außerdem würde z. B. nach einer Triggerung des Systemes nicht sofort mit dem Bildeinlesen begonnen, sondern erst nachdem die freilaufende Kamera das letzte Bild fertig ausgegeben und ihr neues Bild aufintegriert hat. Bei einer CCIR-Kamera kann es also sein, daß man zwischen 0ms und 40ms auf das erste brauchbare Bild warten muß. Das ist wohl recht ungenau. Es gibt nun eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die Bildaufnahme mehr oder weniger exakt mit anderen Messungen zu synchronisieren. Bitte wenden Sie sich bzgl. spezieller Möglichkeiten an das Entwicklungsteam. Einige gebräuchliche Synchronisations-methoden werden im folgenden dargestellt.

- **Externe Triggerung der Kamera:** Moderne digitale Kameras besitzen in der Regel einen externen Triggereingang. Wenn nun durch andere Meßgeräte eine Taktfrequenz zur Verfügung gestellt wird, auf die die Kameras synchronisiert werden sollen, dann wird einfach dieses Triggersignal entweder direkt der Kamera zur Verfügung gestellt oder es wird über den Frame Grabber an die Kameras weitergegeben. Sobald das Triggersignal bei den Kameras eintrifft, werden Bilder belichtet und dann direkt im Anschluß an den Frame Grabber, der ja schon in Warteposition steht, übertragen. Dieser prägt den Bildern dann noch einen Zeitstempel auf (siehe unten) und überträgt sie dann in den Hauptspeicher des Computers, wo sie dann weiterverarbeitet werden. Mit dieser Funktionalität können die Kameras sehr gut auf gegebene Signale

synchronisiert werden. Oft tritt allerdings auch der Fall auf, daß die Kameras eher die langsamsten Glieder eines Meßsystemes sind, wenn nämlich andere Messungen im MHz- oder kHz-Bereich durchgeführt werden. In diesem Fall bietet es sich an, die Synchronisations-Triggersignale über einen Timer/Counter auf ein für die Kameras sinnvolles Maß zu teilen. Dies kann z. B. mit den Timer/Counter-Karten von Decision-Computer geschehen, die vom picCOLOR-Programm unterstützt werden. Geplant ist auch die Einbindung der National-Instruments-Digital-I/O- und Timer/Counter-Karten. Die Genauigkeit der Triggerung ist hier in der Regel exakt und wird nur durch Gatter-Laufzeiten beeinflußt. Das ist also eine Genauigkeit im Nanosekundenbereich.

- **Restart/Reset der Kamera:** Einige ältere Kameras besitzen nicht die komplette flexible externe Triggerung, verfügen aber über ähnliche Funktionalität: eine Restart/Reset-Funktion (auch VINIT genannt) oder eine sogenannte Field-on-Demand-Funktion. Hierzu wird ein TTL-Taktsignal mit dem Restart-Eingang der Kamera verbunden. Bei jedem Signal erhält die Kamera einen Reset und beginnt sofort mit der Bildintegration. In der Regel wird dann genau nach der eingestellten Shutterzeit das aktuelle Bild ausgegeben. Wenn der Frame Grabber in Warteposition steht, d. h. wenn die Messung vom picCOLOR-Programm über eine Triggerung gestartet wurde, so wird das neue Bild dann sofort in den picCOLOR-Speicher übertragen und kann ausgewertet werden. Der Zeitpunkt des Entstehens dieses Bildes und aller weiteren Bilder ist durch das Restart-Taktsignal der Kamera und die eingestellte Shutterzeit festgelegt. Diese Art der Synchronisation ist für die meisten Messungen völlig ausreichend. Die Zeitunsicherheit beträgt eine Horizontalperiode der eingesetzten Kamera, da bei Restart/Reset in der Regel die Horizontalfrequenz der Kamera frei durchläuft. Nach Restart wartet die Kamera auf das nächste interne Horizontalsignal und beginnt dann erst mit der Bildintegration. Bei einer CCIR-Kamera wäre dies eine Unsicherheit von 0 bis maximal 64 Mikrosekunden, bei der Pulnix TM6710 Hochgeschwindigkeitskamera nur 0 bis 32 Mikrosekunden.

- **Komplettsynchronisation der Kamera:** Wenn die oben beschriebene Zeitgenauigkeit nicht ausreicht, d. h. wenn die Bildentstehungszeit genauer als mit 64 oder 32 Mikrosekunden festgelegt sein muß und die Kamera nicht einwandfrei extern getriggert werden kann, so sollte die Kamera mit Vertikal und Horizontal-synchronsignal synchronisiert werden. Hierzu kann ein Synchronsignalgenerator verwendet werden. Wenn gleichzeitig auch noch andere Messungen durchgeführt werden, die mit der Bildanalyse synchronisiert werden muß, so sollten alle Messungen mit dem einen Synchronsignalgenerator synchronisiert werden. Hierdurch kann im Idealfall die Zeitgenauigkeit bis auf wenige Nanosekunden verbessert werden. Wenn es jedoch nicht möglich ist, die parallelen Messungen auf den Synchronsignalgenerator einzustellen, muß ein anderer Weg gegangen werden: Es muß aus dem vorhandenen Meßtakt das komplette Kamera-Timing gebildet werden. Dies ist nicht trivial, ist jedoch bis zu einer bestimmten Genauigkeit möglich. Hierzu wird aus dem Meßtakt sowohl das Vertikalsignal der Kamera als auch das in der Regel wesentlich hochfrequentere Horizontalsignal erzeugt. Dazu wird eine PLL (Phase-Locked-Loop)-Schaltung eingesetzt. Dies ist am einfachsten in Verbindung mit bestimmten Timer/Counter-Karten, die als allgemeine Meßkarten in den PC eingesetzt werden können (PCI oder ISA-Bus). Bisher wurden z. B. die Counter/Timer und I/O-Karten der Firma Keithley GmbH (CTM05) und der Firma Decision Computer International Ltd. (z. B. der 8255/8254 Lab Adapter) eingesetzt und an die picCOLOR-Software angepaßt. Neben den Grundfunktionen zum Initialisieren, Starten, Auslesen und Stoppen des Timers können beinahe beliebige Funktionen implementiert werden. Aufbauend auf der (8255/8254 Lab Adapter)-Karte kann eine aufwendige PLL-Steuerung geliefert werden, die aus einem globalen Synchronisationssignal konditionierte Synchronsignale für die Kamerasteuerung erzeugen kann. Testmessungen haben ergeben, daß hierbei eine Genauigkeit des Horizontalsignales von besser als 200 Nanosekunden gegeben ist. Ein Beispiel: Als Eingangssignal steht z. B. ein 1000Hz-Signal (TTL Square Wave) zur Verfügung, mit dem bestimmte Messungen durchgeführt werden, auf die die Bildanalyse synchronisiert werden soll. Es soll z. B. die Pulnix TM6710-Kamera mit einer Frequenz von 333Hz eingesetzt werden. Das 1000Hz Eingangssignal wird von der Counter-Karte durch 3 geteilt. Über eine Monoflop-Schaltung wird hieraus ein Videogerechtes Vertikalsignal mit negativen Impulsen von 1 ms Länge erzeugt. Über die PLL wird dann mit einem zweiten Counter eine Multiplikation mit dem Faktor 95 durchgeführt um die gewünschte Horizontalfrequenz von 31.7kHz zu erzeugen. Die PLL sorgt dafür, daß die Flanken der Horizontalsignale auf etwa 200 Nanosekunden mit denen des Vertikalsignales synchronisiert sind. Die Ausgabe des Horizontalsignales erfolgt über eine weitere Monoflop-Schaltung zur Einstellung der richtigen Impulslänge von etwa 6 Mikrosekunden. Mit diesen aufbereiteten Signalen wird dann die Kamera gesteuert.

Da jede Kamera hier unterschiedliche Signale benötigt, können solche Ansteuerungen natürlich nicht allgemeingültig sein. Für weitergehende Fragen kontaktieren Sie bitte das Entwicklungsteam.

Time Stamp (Zeitstempel)

Bei einer Sequenzaufnahme und bei der Echtzeit-Trackingfunktion kann zu jedem Bild ein Zeitstempel mitgepeichert werden. Hieran kann erkannt werden, ob eventuell ein Bild bei der Übernahme oder bei der Auswertung ausgelassen wurde und wann das Bild eingelesen wurde. In der Regel funktioniert dieser Zeitstempel nur bei Frame Grabbern, bei denen eine echte "CallBack"- oder "Event"-Funktion verfügbar ist. Dies ist eine Funktion, die immer automatisch nach dem Bildeinlesen aufgerufen wird. Diese Funktion wird von den meisten Frame Grabbern zur Verfügung gestellt, nämlich bei der CORECO VIPER Serie, der Xcelera- und der X64-Serie, bei den Euresys-GrabLink-Karten, und bei den IDS-Falcon/Eagle-Karten, bei den National Instruments CameraLink-Grabbern, und auch beim PCO-Kamera-Interface. Bei anderen Frame Grabbern wird der genaue Zeitpunkt der Beendigung des Bildeinlesens durch Polling abgefragt. Es kann nicht angegeben werden, wie zuverlässig und genau diese Funktionen sind. Für die CORECO F64P-Karte wird eine solche Polling-Funktion durch die picCOLOR-Software emuliert. Hier beträgt die Polling-Rate nur 0.5ms. Ebenso ungenau ist hierbei dann auch der Zeitstempel. In der picCOLOR-Software sind vier Arten eines Zeitstempels implementiert, die wahlweise eingestellt werden können. Die Einstellung ist stark hardwareabhängig und ist daher in der FrameGrabber-abhängigen "Acquisition Control"-Dialogbox aufgeführt:

- **Frame Index - Laufende Bildnummer:** hier wird einfach nur die laufende Nummer des Bildes abgespeichert. Wenn die Auswertung nicht schnell genug ist, alle Bilder zu bearbeiten, so kann man dies an fehlenden Bildnummern erkennen und kann dann z. B. die fehlenden Werte interpolieren.

- **Frame Grabber Time Stamp:** Einige Frame Grabber, so z. B. die X64-Serie oder die Xcelera-Serie von DALSA/CORECO und die Euresys GrabLink-Karten, bieten einen eigenen Zeitstempel an, der jedem eingelesenen Bild aufgeprägt wird und der von picCOLOR abgefragt werden kann. In der Regel wird der Zeitstempel auf die Genauigkeit von 1 Mikrosekunde ausgegeben. Damit ist er mit dem Zeitstempel des "High Resolution Timers" (siehe unten) nicht kompatibel, da dieser z. Zt. noch in Einheiten von 1/10 Millisekunden, also 100 Mikrosekunden, ausgegeben wird. Dieser Time Stamp ist auf jeden Fall vorzugsweise zu benutzen, da er direkt beim Bildeinzug von der Kamera durch einen Timer auf dem Frame Grabber dem Bild aufgeprägt wird und damit völlig unabhängig von Delays durch das Betriebssystem ist.

- **High Resolution Timer:** Auf jedem PC-Motherboard befindet sich ein sehr genau und schnell laufender Zeitgeber, der für Messungen verwendet werden kann. Dieser Zeitgeber kann vom picCOLOR-Programm mit einer Abtastrate von 1/10 Millisekunden abgefragt werden (höhere Raten auf Anfrage). Bei älteren Motherboards liegt die Frequenz dieses Zählers bei 1.193MHz, bei modernen jedoch weit darüber bis hin zur Prozessortaktfrequenz. Wenn dieser High Resolution Timer als Zeitstempelgeber eingeschaltet ist (siehe auch "Configuration"-Dialogbox im "Control-Panel"), so wird er bei Sequenzaufnahme oder bei Start-Triggerung einer Echtzeitmessung auf Null gesetzt und dann nach jedem Bildeinlesen abgefragt. Wenn aufgrund der unzureichenden Rechengeschwindigkeit nicht alle Bilder ausgewertet werden können, kann man auch hier am Zeitstempelstand erkennen, welche Bilder fehlen und kann die fehlenden Daten interpolieren. Dieser Zeitstempel wird in der CallBack-Funktion abgefragt, d. h. also wenn der Frame Grabber an Windows meldet, daß ein neues Bild geliefert wurde. Dadurch kann sich allerdings eine Verzögerung einschleichen, wenn z. B. Windows gerade anderweitig beschäftigt ist (Graphik-Update, Netzwerkanfrage). In diesem Fall wird man feststellen, daß mehrere Bilder praktisch den gleichen Zeitstempel erhalten und kann am Verlauf und an der Anzahl der Zeitstempel wenigstens feststellen, ob Bilder fehlen.

- **External Counter/Timer:** Es kann auch ein externer Counter/Timer abgefragt werden. Bisher wurden z. B. die Counter/Timer und I/O-Karten der Firma Keithley GmbH (CTM05) und der Firma Decision Computer International Ltd. (z. B. der 8255/8254 Lab Adapter oder die PCI8255-Karte) eingesetzt und an die picCOLOR-Software angepaßt. Vor einer Messung kann nun ein Counter gestartet werden und dann während der Messung nach jeder Bildaufnahme abgefragt werden. Hier muß jedoch bedacht werden, daß eine solche Abfrage, die ja über das WINDOWS-Betriebssystem und über den PCI-Bus oder den ISA-Bus durchgeführt werden muß, eine bestimmte Zeit benötigt. Messungen haben ergeben, daß bei der CTM05-Karte (Keithley) ein solcher Auslesevorgang etwa eine Millisekunde benötigt und damit viel zu langsam für eine Echtzeitanwendung ist. Bei der 8255/8254 Lab Adapter Karte von Decision Computer International Ltd. liegt die Auslesezeit bei unserem Testsystem bei lediglich 0.05 Millisekunden und ist damit für Echtzeitanwendungen interessant. Als Zeitgeber kann dann entweder der interne Quartzgenerator der Counter/Timer-Karte oder auch eine beliebige externe Taktquelle eingestellt werden. Auch hier ist zu beachten, daß die Timerabfrage erst in der Callback-Funktion geschieht, daß also Verzögerungen aufgrund von Delayzeiten im WINDOWS-Betriebssystem möglich sind.

DDE Dynamic Data Exchange

Wenn das picCOLOR-Programm unter Windows (NT, 2000, XP, Vista, Win7, Server2003, 2008, usw.) läuft, kann das Dynamic Data Exchange Verfahren benutzt werden, die Daten schnell zu einem anderen Programm zu transportieren, um sie dort auszuwerten. Dieses andere Programm kann bei Anwendung von NetDDE auch auf einem anderen Rechner im Netzwerk liegen. picCOLOR dient dann als DDE-Server und schickt die ausgewählten Daten an ein DDE-Client-Programm. Für eine genaue Beschreibung des Datenformats und für ein Beispielprogramm zur DDE-Implementierung eines DDE-Client-Programmes wenden Sie sich bitte an das Entwicklungsteam.

In der derzeitigen Version des DDE-Server-Programmes können jeweils die Status/Error-Code-Daten als ASCII-String, die 2D-Markerpositionen, die 3D-Rekonstruktionsdaten und die 3D-Lage- und Drehungsdaten eines Objektes übertragen werden. Außerdem können dem picCOLOR-Programm bestimmte Befehle über sogenannte Hot-Keys übermittelt werden. Hierzu sind zusätzlich zu den im Haupthandbuch beschriebenen Namen folgende Items definiert (Achtung: Items sind "case sensitive"):

Servername (Application):	‘‘PicDDE’’
Topic:	‘‘PicPos’’
Allgemeine Items:	‘‘Timer’’, ‘‘HotKey’’, ‘‘IOString’’, ‘‘MResult’’
Zusätzliche Items:	‘‘Error’’, ‘‘Pos2d’’, ‘‘Pos3d’’, ‘‘PosAng’’

Auf eine "Advise"-Anweisung hin übertragen die Items positionsrelevante Daten in ASCII-Strings wie folgt:

Status/Error String: ‘‘ErrorCode, Delay, I/O-Status, FrameIndex, TimeStamp, LostFrames\r\n’’

Im Status/ErrorCode gilt jede Stelle, d. h. jedes Zeichen für einen einzelnen Marker. Der Delay ist der Abstand von Auswertezeiger zum Bildeinlesezeiger im Ringspeicher und gibt an, ob die Auswertung tatsächlich in Echtzeit erfolgte oder etwas verspätet. I/O-Status ist der Zustand einer vorher zu definierende I/O-Line, 0 oder 1. Der FrameIndex ist in der Regel die Bildnummer im Sequenz- oder Ringbuffer. Dieser kann jedoch über MACRO-Befehle zurückgesetzt werden, um z. B. den Beginn einer Messung anzuzeigen. TimeStamp ist der Zeitstempel des Bildes, wie in der Acquisition-Configuration-Dialogbox eingestellt. Er kann bei Null beginnen mit dem ersten Bild einer Messung oder mit dem Trigger zu dieser Messung, je nach Einstellung in der Trigger-Dialogbox. LostFrames ist ein Wert, der im Fehlerfall vom Frame Grabber geliefert wird, und zeigt in der Regel die fehlenden Bilder an. Häufige Fehlerursache sind hier z. B. prellende oder zu schnelle Triggersignale, die nicht mehr sinnvoll vom Frame Grabber in Bildanforderungen umgesetzt werden können.

Pos2d String: ‘‘ xx1 yy1 xx2 yy2 xx3 yy3 ... \r\n xx1 yy1 xx2 yy2 xx3 yy3 ... \r\n’’

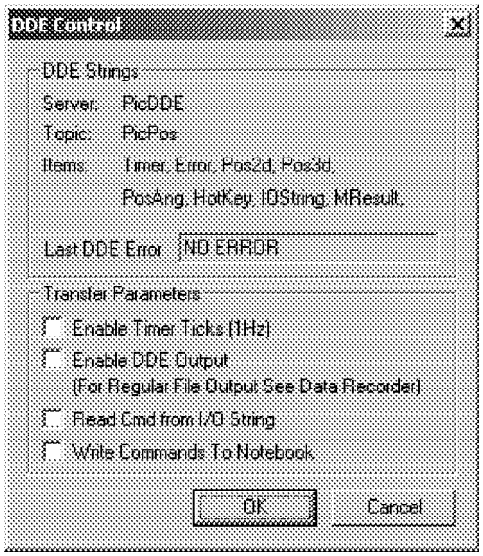
mit xx, yy als Koordinaten der Marker im ‘‘%14.6e’’-Format, zuerst im ersten, dann (nur bei Split-Screen oder Stereo) im zweiten Bild/Teilbild.

Pos3d String: ‘‘ 1 xxx yyy zzz s\r\n 2 xxx yyy zzz s\r\n 3 xxx yyy zzz s\r\n ...’’

mit ‘‘xxx’’, ‘‘yyy’’, ‘‘zzz’’ als Raumpunktkoordinaten im ‘‘%14.6e’’-Format, ‘‘s’’ als Status/ErrorCode (hier der höhere der Codes der beiden Stereo-Marker-Abbilder) und ‘‘\r\n’’ als Carriage Return, Line Feed. Bei der Positions- und Drehungsausgabe werden alle Werte ebenfalls im ‘‘%14.6e’’-Format ausgegeben:

PosAng String:	‘‘ x y z yaw pitch roll status\r\n’’
oder	‘‘ x y z theta psi phi status\r\n’’
oder	‘‘ x y z alpha beta gamma status\r\n’’, je nach Einstellung des Drehungsmodells.

Als jeweils letzte Zeile eines kompletten 3D-Datensatzes kann dann jeweils noch spezielle Statusinformation erscheinen, die über die Einstellung in der "Ausgabetype"-Dialogbox ausgewählt werden kann. Diese entspricht dem "Status/Error String", der oben beschrieben wurde, besitzt allerdings beim ErrorCode den Wert "Worst Error", das ist der schlimmste, d. h. höchste ErrorCode-Wert, der im ganzen Datensatz vorkommt.



Der Schalter "Enable DDE Output" muß für die Ausgabe aller Strings eingeschaltet sein. Unabhängig davon können folgende Befehle dem Programm über Ein-Tasten-Befehle übermittelt werden. Hierzu wird der DDE-Befehl ‘‘Poke’’ verwendet:

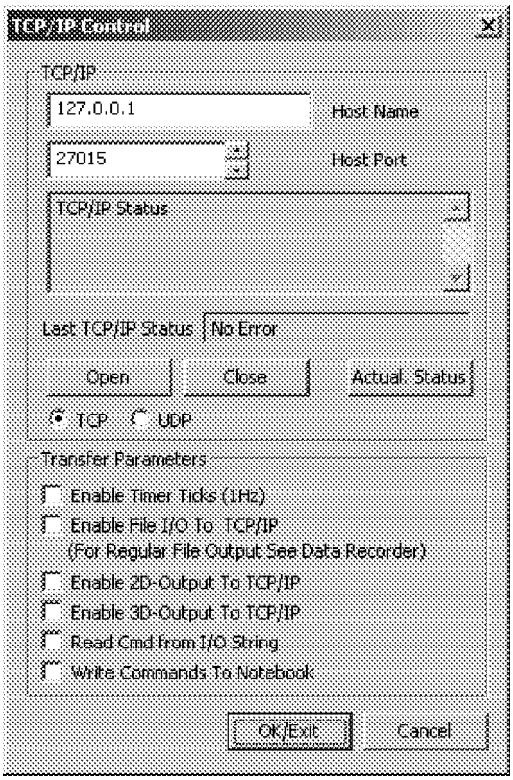
HotKey Character:
- 0x80: Start Continuous Tracking (Programm wartet dann auf Trigger)
- 0x81: Start Single Tracking
- 0x82: Save Marker Pos. 0
- 0x83: Save Marker Pos. 1
- 0x84: Restore Marker Pos. 0
- 0x85: Restore Marker Pos. 1
- 0x86: Check Search ROI’s
- 0x87: Transfer Manually Defined Reference Positions (=Transfer Calibration Markers)
- 0x88: Adapt Threshold for New Light Conditions
- 0x89: Reset Object Position, Next Tracking Yields (0,0,0,0,0,0) Reference Position
- 0x8A: Enable Writing on File During Tracking
- 0x8B: Disable Writing on File During Tracking
- 0x1B: (ESC) Stop Continuous Tracking Function (oder Stopp anderer Funktionen)
- 0x0D: (RETURN) Trigger Continuous Tracking Function

Außerdem sind die HotKeys "A" zum Start und "E" zum Beenden einer Messung vorgesehen, und dazu sind alle weiteren im Haupthandbuch beschriebenen HotKeys ausführbar, also z. B. die Bildspeicherumschaltung mit den Ziffertasten (1..9), die ROI-Umschalttasten (x,y,z), und viele weitere Tastenbefehle.

Beliebige andere Daten und Befehle können natürlich auch übertragen werden. Hierzu kann die allgemeine DDE-Schnittstelle verwendet werden, so wie sie im Haupthandbuch beschrieben ist. Es können natürlich auch weitere spezielle "Items" für bestimmte Ausgaben implementiert werden. Hierzu muß jedoch eine spezielle Version des picCOLOR Programmes erstellt werden. Wenden Sie sich hierzu an das Entwicklungsteam.

Data Exchange über TCP/IP

Statt des Dynamic Data Exchange (DDE)-Verfahrens kann neuerdings auch das TCP/IP-Interface benutzt werden, um die Daten schnell zu einem anderen Programm oder auch zu einem anderen Rechner im Netzwerk zu transportieren, um sie dort auszuwerten. picCOLOR dient dann als TCP/IP-Server und schickt die ausgewählten Daten an ein TCP/IP-Client-Programm. Das Datenformat entspricht im Wesentlichen dem oben beschriebenen Format für die DDE-Implementierung. Allerdings gibt es für TCP/IP nicht die Liste von Items, die getrennt vom Client-Programm angewählt werden können. Bei TCP/IP werden alle Daten hintereinanderweg übertragen und man kann in der TCP/IP-Dialogbox auswählen, welche Daten übertragen werden sollen.



Dabei kann ausgewählt werden, ob 2D-Daten und/oder 3D-Daten übertragen werden. Die Daten kommen dann im unter DDE schon beschriebenen Format, allerdings mit einer zusätzlichen Überschrift, damit man die einzelnen Daten-Blöcke auseinanderhalten kann. Bei 2D-Daten lautet diese Überschrift: *2D* 2N, mit N als der Anzahl der Marker, bei 3D-Daten ist es: *3D* N, ebenfalls mit N als der Anzahl der Marker.

Das "Enable File I/O To TCP/IP"-Flag dient dazu, ganz normale andere Daten des picCOLOR-Programmes statt auf File auch auf die TCP/IP-Schnittstelle übertragen zu können. Zur genaueren Bedienung der TCP/IP-Funktionen nehme man das picCOLOR-Haupthandbuch zu Hilfe.

Fehlermeldungen des picCOLOR-Programmes

Während des Echtzeit-Trackings wird in der Status-Zeile des aktiven Bildes einiges an Information angezeigt. Dies ist normalerweise keine Fehlermeldung, allerdings können hier im Fehlerfalle auch bestimmte Fehler angezeigt werden:

"RT Tracking: Image=nn, Delay=dd, Max=maxdd, Skip=ss" und eventuell noch "Lost=xx"

"Image" ist die Bildnummer des letzten übernommenen Bildes. "Delay" zeigt an, ob der Auswerte-Zeiger tatsächlich das letzte übernommene Bild ausgewertet hat (Delay=0) oder ob der Auswertezeiger hinter dem Bildeinlesezeiger zurückfällt (Delay>0). "Max" ist der maximale Delay seit dem Start des Trackings. Diese Werte stellen keine Fehler dar, können aber eine Echtzeitauswertung als sinnlos bezeichnen, wenn sie zu groß sind. Die Werte "Skip" und "Lost" sollten immer Null sein: "Skip" zeigt an, daß Bilder übersprungen wurden, da der Auswertezeiger im Ringbuffer bedroht wurde, vom Bildeinlesezeiger überholt und damit überschrieben zu werden. "Lost" zeigt an, daß der Frame Grabber Fehler gemeldet hat und eventuell Bilder beim Einlesen fehlen oder Triggerimpulse nicht zu einem Bildeinlesen führten.

Folgende Fehlermeldungen werden ausgegeben, wenn Probleme bei der Adaption der Marker an neue Beleuchtungsverhältnisse auftreten:

"Cannot Adapt Threshold of Marker [nn (x,y)], Marker Not Correctly Detected"
mit nn als Markernummer und x als
0: rejected
-1: Memory allocation
-2: object is a hole
-3: Wrong pixel gray level and Dark/Bright-setting
-4: undefined object error
und y als:
0: no known reason
1: touch border of search ROI
2: object rejected (rejected objects in search ROI)
3: object is a hole (holes in search ROI)
4: object not valid for unknown reason
5: object is an open contour or a too large contour
6: object was already searched (y is smaller than y-start)
7: unknown (may be area is 0?)

Weiterhin werden Meldungen ausgegeben, wenn die Größe oder der Grauwert oder andere Parameter der Marker nicht mit den vorgegebenen Annahmen übereinstimmen:

"Found Object At Position Of Marker[%d] (0..n-1): Thrs=%d, Gray=%d, Diam=%d" (kein Fehler)
"Error: ...But Contrast Is Really Too Low... (Invalid Thrs.Range(%d..%d))"
"Error: ...But Marker Is Really Too Large Or Too Small... (Valid Diam.Range[%d..%d])"
"Warning: ...But Marker Size Out Of Range, Adjusting... (Optimal Diam.Range[%d..%d])"
"Warning: ...Adapted With New Threshold Box (%d->%d) => Thrs=%d, Gray=%d, Diam=%d"
"Error: ...But Cannot Find Marker Anymore After Thresholdbox Size Correction..."
"Found Object Within Search ROI Of Marker[%d]: Thrs=%d, Gray=%d, Diam=%d"
"Error: Cannot Find Valid Marker Within Search ROI Of Marker[%d]\r\n ObjectCount=%d"
"Object Rejected"
"Object Touches ROI Border"
"Warning: Threshold Too Close To Gray Level (Marker[%d], Thrs=%d, Gray=%d, Valid Range=[80..125%])"
"Warning: Threshold Too Close To Gray Level (Marker[%d], StdDev=%d) (Illum. Variation/Smooth Border)"
"Error: Cannot Find Anything At Position Of Marker[%d]"
"Threshold Problem at Marker[%d] (Thrs=%d, Gray=%d, Valid Range Is 80..125%%)"
"Threshold Too Close To Gray Level (Marker[%d], StdDev=%d) (Illum.Variation/Smooth Border)"
"Plausibility Errors At Marker[%i]:"
"Detected Threshold (=%d) Not Plausible (%s Valid Value = %d)"
"Threshold/AverageGray Difference Too Small (Threshold=%d, AverageGray=%d, Min. Valid Range: +-%d)"
"Area/RequestedSize Difference (Area=%d, RequestedSize=%d, Max. Valid Range: +-%d)"
"Cannot Adapt: Threshold(%d),Area(%d),Gray(%d) Values Differ Too Much From Average (%d,%d,%d)"

Alle diese Fehlermeldungen werden nur angezeigt, wenn der "verbose"- oder "Debug"-Schalter in picCOLOR eingeschaltet ist, und sollen helfen, das Problem einzukreisen. Diese Meldungen können auch auftreten, wenn über MACRO-Funktionen neue Marker eingegeben werden und diese beim Test auf Plausibilität durchfallen.

Folgende Fehlermeldungen erscheinen, wenn versucht wird, eine Markerfunktion oder eine 3D-Funktion anzusprechen, wenn jedoch die notwendigen Parameter, Markerdefinitionen oder Initialisierungen noch nicht vorgenommen wurden:

‘‘Set positions!’’,‘‘Set Position Matrices!’’, ‘‘Set 3D-Position System’’	3D-Rekonstruktion erwünscht, aber es sind noch keine Transformationsmatrizen gesetzt
‘‘Define New Set of Markers’’	Keine Marker definiert, oder wesentliche Parameter-änderungen (Anzahl, 2D/3D, o.ä.) erzwingen neue Markerdefinition.
‘‘3D-Pos: File Handling’’	Fehler beim Datenspeichern (Disk Full?, Schreibfehler?)
"RT tracking for regular 2D or sequence buffers only"	Tracking kann nicht in Farb-Speichern aufgeführt werden

Bei der Markerdefinition können folgende Fehler auftreten:

‘‘Select 2 image buffers (stereo)’’	Die Stereo-Bildspeicher für Kamera 1 und Kamera 2 sind gleich.
‘‘Too many markers!’’	Bis zu 100 Marker sind z. Zt. zugelassen
‘‘Small marker, redefining threshold’’	die angewählten Marker sind wesentlich kleiner als angegeben, das System versucht, sinnvolle Schwellwerte zu bestimmen
‘‘Large marker, redefining threshold’’	die angewählten Marker sind wesentlich größer als angegeben, das System versucht, sinnvolle Schwellwerte zu bestimmen
"Large Illum. Variation or Smooth Border"	Markerbestimmung problematisch, da z. B. Hintergrund zu ungleichmäßig ist
"Please do not change the activated (left) image buffer"	Während der Stereo-Markerdefinition darf nicht der Bildspeicher zur falschen Zeit gewechselt werden
‘‘Try again...’’	Die Markerdefinition wurde abgebrochen

Fehlermeldungen bei der Berechnung der Transformationsmatrizen: sie treten z. B. auf, wenn die 6 oder mehr Kalibrations-Raumpunkte keinen Raum aufspannen oder die Gleichungen extrem schlecht konditioniert sind:

"Use at least 6 markers with 12 images in stereo views!"	
"No more than NN markers allowed for 3D calibration"	Die Maximalanzahl steht z. Zt. auf 100 Marker.
‘‘Error inverting matrix’’	Fehler beim Lösen des Gleichungssystemes.
"Check: s1=xxx [1.0!], s2=xxx [0.0!]"	Mögliche Fehler bei der Matrixinversion
‘‘Matrix is singular’’, ‘‘Matrix Inversion Failed’’	
"Error in transformation matrix 0|1"	
‘‘Doesn’t meet convergence criteria’’	Fehler bei der Gauss-Seidel-Iteration zur Gleichungslösung
‘‘Maximum iteration count exceeded’’	s.o.
‘‘Accuracy low! Residuum(dy[6])=...’’	Die Kontrolle der Transformationsmatrizen ergab große Fehler bei der nicht benutzten y-Komponente des 6. Punktes (mehr als ein bestimmter Prozentsatz der Objektgesamtmaße L+B+H)
"Gauss Solver Information: Det = xxx, Had = xxx, Residue: xxx"	Kein Fehler: Anzeige der Konditionsmaße der Gleichungen bei Benutzung des Gauss-Solvers.
"Error inverting matrix for error vector check"	Zur Erzeugung der Fehlervektoren muß wieder eine Matrixinversion durchgeführt werden.
"3D Calibration Information: Error Vectors: x, y, z, ..."	Kein Fehler, es werden die Fehlervektoren bei der Kalibrierung angezeigt, die natürlich möglichst klein sein sollen.
"Matrix is singular (det<=0 in in eqn_gauss)"	Fehler im Gauss-Algorithmus
"Matrix is singular (in treppe)"	Fehler im Gauss-Algorithmus
‘‘Reset System Calibration, Keep Unit’’	Zur Vermeidung von Fehlern oder Mißverständnissen darf keine Systemkalibrierung bei der 3D-Initialisierung gesetzt sein, da für 3D ein eigenes absolutes Koordinatensystem definiert wird. Eine System-Einheit sollte jedoch gewählt werden.

Fehlermeldungen, die bei der 3D-Objektlageberechnung aus 3 gegebenen Punkten auftreten können

‘‘3D-Pos: Use 3 Points or more’’	Für 3D-Objektlagebestimmung werden 3 Punkte benötigt.
"3D-Pos Matrix Inversion Errors: Recalculate Transformation Matrices"	Hier bitte die Punktlage überprüfen
"Divider? cr: xxx, p3x-p1x: xxx" "Divider? e3: xxx, e6: xxx, p1x: xxx" "Divider? tmp1: xxx"	Es wird versucht, bei der Objektlagebestimmung durch NULL zu dividieren. D. h. es scheinen Marker in einer Linie zu liegen oder sind sonst nicht räumlich voneinander unabhängig.
"Setup plane equation and rotation matrix ok!"	Kein Fehler: nach der Initialisierung der Objektlagebestimmung

"Pitch unsave, better use different method!" Probleme bei der Objektlagebestimmung: Ungenauigkeiten bei
"Roll unsave, use different method!" asin, acos, oder atan zu erwarten.
"Yaw unsave, use different method!"

Fehler beim Abspeichern oder Hereinladen von Parameter-Files:

‘‘P3D-File not created (exists?) (3D-Parameter-File inclusive aller Objektpunkte)
‘‘P3D-File not found’’
‘‘O3D-File not created (exists?) (3D-Object-Filemit allen Objektpunkten)
‘‘O3D-File not found’’
‘‘TPR-File not created (exists?) (Marker Tracking Parameter-File mit allen 2D-Koordiaten)
‘‘TPR-File not found’’
"Number of points too large, consult developers..." Über TPR-File sollen zu viele Marker eingelesen werden.
"3D Origin Changed: New Marker Definition Necessary!" Der Origin liegt normalerweise auf optischer Achse der Kamera (im Bild ROI-Mitte). Wenn dieser sich beim Einlesen eines P3D-Files ändert, müssen neue Marker definiert werden
"Requested stereo buffers not available: Setup buffers!" Im Datenfile sind Stereomessungen festgelegt, aber es sind noch keine Stereo-Bildspeicher definiert

Vor dem Tracking oder Beim Tracking können folgende Fehler auftreten:

"Error: Two-Screen Mode Not Available, Use Split-Screen Environment!" System ist hardwaremäßig nicht für 2 Bildspeicher geeignet, da der Frame Grabber nicht gleichzeitig zwei Bilder einlesen kann.
"Two-Screen Mode Not Operational!" Fehler beim Initialisieren des zweiten Bildspeichers aufgetreten
"Select 2 image buffers (Stereo)" Bildspeicher für 2-Vollbilder-Mode müssen unterschiedlich sein.
"3D Pos. Matrix not initialized! Tracking will be in 2D only..." Transformationsmatrizen sind nicht initialisiert, Tracking nur 2D. Da das System jedoch auf 3D eingestellt ist, werden hierzu nicht die Systemkalibrierung und die Systemkoordinaten benutzt.
"3D-Tracking: Two-Screen or Split-Screen Required!" 3D-Schalter gesetzt, aber kein Stereo-Modus definiert.
"Set 2 Corresponding Sets of Markers!" Es wurde z. B. eine ungerade Anzahl von Markern eingegeben.
"Image types not consistent" Kann eigentlich nicht auftreten: Stereo-Tracking mit unterschiedlichen Bildtypen (Grauwertbild, Farbbild, Sequenzbild).
"No Data File Open, No Data Will be Saved!" Daten werden nicht abgespeichert, da kein Datenfile offen ist.
‘‘Marker Set not Defined!’’ Es wurde versucht, ein Marker-Positions-Set zu restaurieren, das zuvor nicht gespeichert wurde.
"Error: Camera calibration parameters have changed! Flag=nn, kappa1xxx, kappa2=xxx" Darf nie vorkommen!
"Error Code: 0000102030405060 Code Description:" Mögliche Error Codes bei der Markersuche:
"0: OK"
"1: OK, but marker is Near Border"
"2: Marker reconstructed from neighbors"
"3: Rejected"
"4: Touch ROI"
"5: No Marker"
"6: Too Many"
"7: 3D Problem: Pitch Unsave"
"8: 3D Problem"
"Caution: Keeping Motion Extrapolation Values From Last Tracking" Bei Single-Tracking wird die Markerbewegungsstatistik (Geschwindigkeit/Richtung) beibehalten, wenn der Extrapolations-Schalter eingeschaltet ist, um eine Auswertung mit MACRO-Programmen zu ermöglichen

Meldungen nach Beendigung eines Trackings:

"Real Time Statistics: NNN Images" Informationen nach der Echtzeittrackingfunktion
"Lost nn Frames! PCI Too Slow/GrabberOverflow/Ext.Trig.Ignored"
"Processing too slow: Crash into ring buffer -> Stop"
"Processing too slow: Skipped nn images"
"Ring buffer was used averaged x distances, largest was nn, sum=nn"
"Processing too fast, ran into grabbing: nn (should never happen!!!)"
"Highres Timeout count = nn (should never happen!!!)"

Diese Meldungen können auch später noch über das Menü abgefragt werden. Es sind nicht alles Fehlermeldungen, aber einige davon können schwerwiegende Fehler andeuten.

"Use After Execution of Real Time Function" Es wurde versucht, die Echtzeittrackingstatistik ohne vorheriges Tracking aufzurufen.

"End Condition = " Mögliche Endebedingungen nach dem Beendigen eines kontinuierlichen Trackings: nur 1 und 2 sollten vorkommen.
"0: Error: No End Condition?",
"1: Regular Stop Condition 1",
"2: Regular Stop Condition 2",
"3: Time Out",
"4: Error in Acq_Wait_Transfer() (no ring distance)",
"5: Error in Acq_Wait_Transfer() (with ring distance)",
"6: Frame Grabber has no CallBack",
"7: Crashed into Ringbuffer, no Skip Allowed",
"8: Trigger or Abort in Trigger-Function (no Stop Delay)",
"9: Trigger or Abort in Trigger-Function (no Highrestimer)",
"10: Stop Condition Set and End Delay Over",
"11: Measure Time End",
"12: Error During Acquisition"

Weitere Meldungen:

"Warning: Contrast Problems at Marker[n]" Dieser Fehler kann bei Setzen von Einzelmarkern auftreten. Wenn per MACRO-Funktion ein einzelner Marker gesetzt, d. h. definiert wird, so wird dieser auf Plausibilität überprüft.

"Cannot Find Marker[n]" s.o.

"Wrong Marker Count" s.o.

"Function Available for Normal Image Buffer or Sequence Buffer Of Exactly The Image Buffer Size" Kann bei der Darstellung der Such-ROIs in Sequenzspeichern mit kleineren Dimensionen als den normalen Bildspeichern auftreten

"Inspect 3D-Points in 3D-Camera-Position Dialog Box" Es wurde versucht, die Objektlage auszugeben, obwohl lediglich 3D-Einzelpunkte bestimmt worden sind.

‘‘Not Implemented!’’ Die angewählte Funktion existiert noch nicht

"Install Real Time Extension Module!" Das 2D/3D-Tracking erwartet das picCOLOR Extension Modul

Weitere Fehlermeldungen, die nicht ganz speziell das 3D-Positionsmodul angehen, finden Sie im picCOLOR-Manual.

References

1. David F. Rogers, J. Alan Adams, ‘‘Mathematical Elements for Computer Graphics,’’ McGraw-Hill Book Company, 1976
2. David F. Rogers, ‘‘Quantitative Information from Helium Bubble Flow Visualization Using Computer Graphics Techniques,’’ AIAA 14th Aerospace Sciences Meeting, Washington D.C., January 26-28, 1976, also AIAA Paper No. 76-93
3. Bronstein, Semendjajew, Musiol, Mühlig, "Taschenbuch der Mathematik", Verlag Harri Deutch 2001
4. Roger Y. Tsai, ‘‘An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision’’, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision‘‘ and Pattern Recognition, Miami Beach, FL, 1986, pages 364-374.
5. Roger Y. Tsai, ‘‘A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses‘‘, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, August 1987,‘‘ pages 323-344.‘‘

Beispiel-MACRO-Programme: Nachträgliche Auswertung von Einzelbildern

```
/* Auswertung von Sequenzbildern, die bereits in den Stereo-Sequenzspeichern enthalten  */
/* sind und bei denen die Marker bereits definiert sind und alle Parameter gesetzt sind */
DEFINT DarkBright
DEFINT MeasCount
DEFINT SeqLength
DEFINT Data_id
DEFINT End
DEFINT Minsize
DEFINT Maxsize
DEFINT ROI_Width
DEFINT ROI_Height
DEFINT Count
DEFINT StartInSeq
DEFINT Meas2d3d
DEFINT Saved
DEFINT Filter

/*** Start user section: set variables here! ********************************/

Minsize     :=  15  /* min approx. marker area in pixel */
Maxsize     :=  80  /* max approx. marker area in pixel */
DarkBright  := 0    /* 0: dark markers on white background; 1: bright markers */
StartInSeq  :=  0   /* Start pointer in sequence */
Count       :=  -1  /* 0: interactive input, -1: complete sequence, or positive count 1..n */
Meas2d3d    :=   1  /* measurement in 2d (0) or 3d (1) */
Filter      :=  12  /* 0: no filter, 12: laplace5&3, Bit2=Laplace5, Bit3=Laplace3 */
ROI_Width   := 1280
ROI_Height  := 1024
STRING[6] := "d:\temp\data"    /* open data output file path */
STRING[7] := "Measurement_x1"  /* Measurement Data file name root */

/*** End user section ******************************************************/

data_pathname STRING[6]        /* set data output file path */
stop_on_error 0                /* no errors or warnings output */
user_message "Start Position Measurement: Data Files Deleted? Stereo Images in Sequence Buffer?"
IF IVAR[0] # 1                 /* user selection: -1|0|1 is in IVAR[0] */
  user_message "User Abort"
  STOP
ELSE
ENDIF
stop_on_error 1

get_3d_image                       /* check sequence image size and state */
IF IVAR[14] <= 0
  error_box "Define Sequence Buffer for Real Time Measurement"
  STOP
ELSE
  SeqLength := IVAR[12]            /* save sequence buffer length (was in IVAR[12]) */
ENDIF

IF Meas2d3d = 0
  Saved := 1                       /* save 2d data, if this is not a 3d measurement */
ELSE
  long_input "3D-Tracking: Include 2D Data In 3D Measurement File (0|1)?"
  Saved := IVAR[10]
  Saved += 2                       /* set the 3D-save-bit */
ENDIF

IF Count = -1                     /* complete sequence */
  StartInSeq := 0
ELSE
  IF Count > 0
    SeqLength := Count           /* if Count is set to useful number, use it instead... */
  ELSE
    long_input "Start image number (in sequence buffer, 0...n)?"
    StartInSeq := IVAR[10]
    SeqLength -= StartInSeq      /* calculate sequence length from start pointer to end */
    long_input "How many images (in sequence buffer) (-1: All images from start pointer)?"
    Count := IVAR[10]
  ENDIF
ENDIF
```

```
/***************** initialize position and marker search ***********************/
rt_position  9  1 0  1  /* show stereo marker, no global thresh, extrapol from former motion */
rt_position 10  0 Saved Meas2d3d  /* set marker graphics=0,savedata=1|3,3dpos=-1:nochange */
rt_position 11  Filter 1 -1       /* 0=nofilter, sizevalidation=1, keep old maxmin */
rt_position 13  -1 -2 1           /* dummy not used, keep paintscreen=-2, autoadapt=1 */
rt_position 16  3  1  5           /* enlarge_roi, set fallback but no skip, ringsavety=5 */
pos3d_setup 2 65536              /* set 0x10000 for method 0 with appending of status line */
set_rejection 2 1 Minsize Maxsize /* min/max pixel area */
set_pix_area  2 0 DarkBright 0    /* use pix runs, no grayweighted, darkbright, savefreeman */
dde_transfer 1 0                  /* enable send transfers (for file name) */

/******************** initialization of start images ********************/
MeasCount := StartInSeq           /* Count of overall measurement loops */
select_active3d 0 1               /* activate seq buffer 1 */
d3d_show MeasCount 1              /* and activate first image in seq buffer */
select_active3d 0 2               /* activate seq buffer 2 */
d3d_show MeasCount 1              /* and activate first image in seq buffer */
select_active3d 0 1               /* and re-activate seq buffer 1 */

/*************************** end of setup *********************************/

/************************* create output data file ***************************/
data_filename STRING[7]
data_params 1 0 0                     /* use header */
stop_on_error 0                       /* disable fatal error exit */
open_data_file 0 0 0 0                /* open data file for save */
IF IVAR[0] # 1                        /* if file open error do useful exit */
    select_active3d 0 1                 /* select sequence buffer 1 */
    error_box "Open File Error: Abort"
    enable_undo 1
    STOP
ELSE
ENDIF
Data_id := IVAR[10]                   /* save data file handle */
stop_on_error 1                       /* and enable stop on fatal errors */
set_writef_id Data_id                 /* select active file for write */

/****************** loop over all selected sequence images *******************/
select_active3d 0 1                     /* activate seq buffer 1 */
FOR SeqLength
    msg_interactive 0                   /* do not show messages */
    stop_on_error 0                     /* disable fatal error exit */
    rt_position 3 1 2 Meas2d3d           /* single 2D/3D-measurement with actual images */
    stop_on_error 1                      /* and enable stop on fatal errors */
    msg_interactive -1                   /* and enable messages */
    MeasCount++                           /* and next measurement (next image pair) */
    d3d_show MeasCount 1                 /* show next image in seq 1 */
    select_active3d 0 2
    d3d_show MeasCount 1                 /* show next image in seq 2 */
    select_active3d 0 1
    IF Saved > 0
      data_params 0 0 0                /* no more headers after the first header line in 2d */
    ELSE
    ENDIF
ENDFOR

/***************** close output data file and transfer name to DDE ***************/
msg_interactive 0                     /* do not show messages */
close_data_file Data_id               /* close data file */
msg_interactive -1                    /* and enable messages */

set_writef_id 1                       /* set write to stdout */
STRING[5] := CONCAT ( STRING[6], STRING[7], -1)  /* concat path and file name */
STRING[5] := CONCAT ( STRING[5], ".DAT", -1)     /* add .DAT extension */
writef_string STRING[5]               /* send data file name to stdout, or via DDE */

dde_transfer 0 0                        /* disable dde transfer to host */

/************************ end macro function **************************/
```

Macro-Funktionen

Alle Macro-Funktionen finden Sie im MACRO-Handbuch. Nur so kann sichergestellt werden, daß nicht mehrere Versionen der Macro-Funktionsbeschreibungen nebeneinanderher existieren.