

Peter Stiefenhöfer

Im Nu scharf gestellt



Anwendungen, in denen sich der Arbeitsabstand zwischen Objekt und Kamerasystem häufig verändert, sind eine Herausforderung für Bildverarbeitungslösungen. Kameras mit fokusvariablen Linsen beschleunigen hier das Fokussieren.

Der Arbeitsabstand zwischen Objekt und Kamerasystem ändert sich in der Massenfertigung von Produkten in der Regel nicht oder nur geringfügig. Das heißt, in diesen Fällen ist das optische Design eines Bildverarbeitungssystems relativ einfach: Aus dem vorliegenden Arbeitsabstand sowie der gewünschten Auflösung errechnen sich die optischen Kenngrößen des Systems, das anschließend nach Auswahl der geeigneten Komponenten und dem Einbau in die Anlage ohne weitere Anpassungen seinen Dienst tut. Eine Umrüstung der Anlage auf Produkte mit anderer Geometrie erfordert dann zwar ein einmaliges Anpassen des Bildverarbeitungssystems, aber danach läuft die Anlage wieder – im Optimalfall ohne weiteren Eingriff bis zur nächsten Umstellung.

Aber: In vielen Anwendungen müssen Bildverarbeitungssysteme einen häufigen Wechsel des Arbeitsabstandes realisieren. Im Extremfall ändert sich der Abstand zwischen Prüfebene und Kamerasystem von jedem einzelnen Objekt zum nächsten – beispielsweise

bei einer Anlage zum Lesen von Adressen auf Paketen, wo die Höhe der Pakete laufend variieren kann. Um die gewünschten Informationen in diesem Beispiel stets scharf aufnehmen zu können, müsste der Arbeitsabstand zum Bildverarbeitungssystem oder der Fokus der Optik für jedes Paket angepasst werden. Dies ist auf mechanische Weise oft nicht in der nötigen Geschwindigkeit machbar.

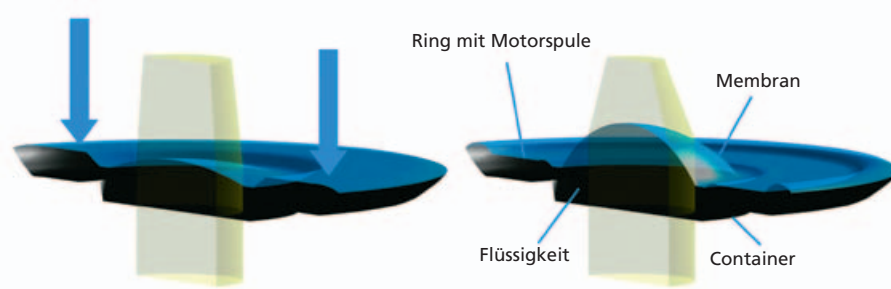
Variable Krümmung der Linse

Traditionelle optische Systeme erlauben zwar innerhalb gewisser Grenzen ein Fokussieren je nach erforderlichem Abstand, doch dazu ist es nötig, eine oder mehrere Linsen entlang der optischen Achse zu verfahren. Dies erfordert Motoren und mechanische Führungen, was nicht nur die Baugröße und Antwortzeit limitiert, sondern auch die Robustheit und die Lebenszeit einer Lösung.

Für solche Anwendungsfälle liefern fokusvariable Linsen eine Alternative. Technische Basis ist die variable Krüm-

mung einer Linse, die aus einer Membran besteht und mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Wird der Druck innerhalb der Linse verändert, so lässt sich die Krümmung einstellen. Beim Schweizer Unternehmen Optotune beispielsweise presst ein stromgesteuerter Aktuator durch einen Ring Flüssigkeit von außen ins Linseninnere, wodurch sich die Krümmung der Linse und somit die Brennweite ändert. Dabei kann eine Änderung des Linsenradius von wenigen Mikrometern bereits die gleiche optische Wirkung erzielen wie das mechanische Verschieben einer Linse um mehrere Zentimeter. So ist es möglich, optische Systeme kompakter, oftmals mit weniger Linsen und ohne translatorische Bewegung zu gestalten. Die Ansteuerung der elektrooptischen Bauelemente hat Optotune stromgesteuert über einen elektromagnetischen Aktuator realisiert. Dabei verhält sich die Brechkraftänderung (in Dioptrien gemessen) linear zum eingepprägten Strom, ist reproduzierbar und auch frei von Hysteresis.





Wirkungsprinzip der elektrisch fokusvariablen Linsen von Optotune: Durch einen Ring presst ein stromgesteuerter Aktuator von außen Flüssigkeit ins Linseninnere. Hierdurch ändert sich die Krümmung der Linse und somit die Brennweite.

Allerdings variiert das Verhältnis zwischen Brechkraft und Strom aufgrund von Produktionstoleranzen von Linse zu Linse, und auch Temperaturschwankungen beeinflussen die Ansteuerung. Um dennoch eine akkurate Steuerung der Brechkraft zu ermöglichen, enthalten die fokusvariablen Linsen einen Temperatursensor, auf dem zusätzlich die Kalibrierdaten der jeweiligen Linse gespeichert sind. Mit dem ebenfalls angebotenen Stromtreiber lässt sich somit eine absolute Genauigkeit von typischerweise 0,1 Dioptrien erreichen. Die Kommunikation mit dem Treiber erfolgt über eine USB-Verbindung und ein serielles Protokoll, das in diversen Programmiersprachen implementierbar ist. Der Quellcode für die Ansteuerung ist in C# und Labview verfügbar. Ein alternativer Stromtreiber mit GigE-, RS232- und Analochnittstellen ist von der britischen Firma Gardasoft erhältlich. Zur Vereinfachung der Systemintegration für den Anwender arbeitet Optotune mit diversen Kameraherstell-

ern und Softwarefirmen im Bereich Bildverarbeitung zusammen, um eingebaute Autofokusfunktionen realisieren zu können.

Mechanische Antriebe überflüssig

Flüssiglinsen kommen komplett ohne teure, mechanische Antriebe aus und ermöglichen ein robustes Design, das mit höheren Genauigkeiten arbeiten kann als Optiklösungen auf mechanischer Basis. Während mechanische Autofokussysteme oftmals bezüglich Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit an ihre Grenzen stoßen, ermöglichen fokusvariable Linsen ein Fokussieren über große Unterschiede im Arbeitsabstand hinweg innerhalb von Millisekunden. Zudem lassen sie sich komplett abdichten, so dass kein Staub eintreten kann, was die Fehleranfälligkeit während der Bildaufnahme und der nachfolgenden Auswertung reduziert.

Eine weitere Eigenschaft fokusvariabler Linsen ist die Verwendbarkeit ver-

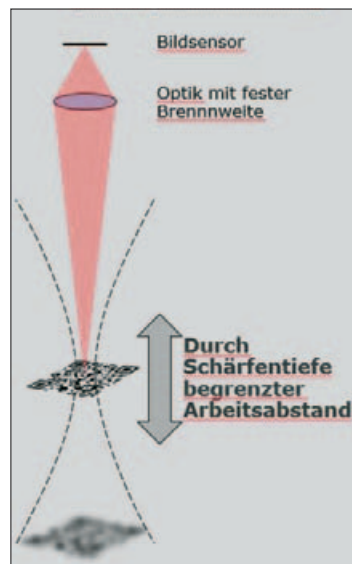
schiedener optischer Materialien. Insbesondere für polychromatisch abbildende Optiken bietet sich eine Flüssigkeit mit tiefer Dispersion mit einem Brechungsindex von 1300 und einer Abbe-Zahl von 100 an. Bei solchen Linsen tritt praktisch keine chromatische Aberration (Farbabweichung) auf. Aus diesem Grund lassen sich fokusvariable Linsen auch mit handelsüblichen Objektiven zu hochqualitativen Autofokussystemen kombinieren, ohne dabei auf zusätzliche Maßnahmen zur Farbkorrektur achten zu müssen.

Blick in die Anwendung

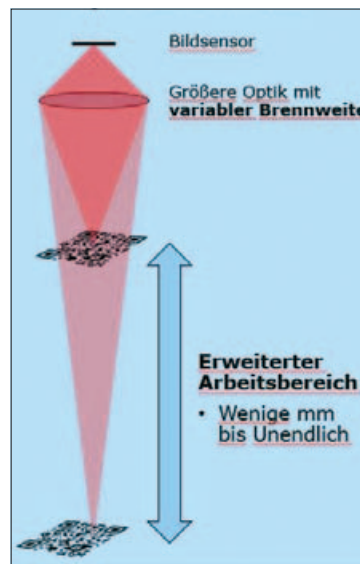
Auch vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 nimmt die Bedeutung fokusvariabler Linsen zu: Wer kleine Losgrößen herunter bis zu Stückzahl 1 fertigen will, muss seine Produktion mit Lösungen ausstatten, die schnell und flexibel auf sich ändernde Geometrien der Prüfteile reagieren können.

Schon heute existieren zahlreiche Beispiele, in denen die elektrooptischen Bauelemente von Optotune ihren Dienst verrichten. Eine naheliegende Anwendung für fokusvariable Linsen ist das Lesen von 2D-Codes, etwa auf Objekten unterschiedlicher Größe in der Logistik-, Pharma- oder Automobilbranche. Während sich 1D-Codes mit einem Laser scannen lassen, erfordert das Lesen von 2D-Codes eine Kamera, da sie zusätzliche Inspektions- und Vermessungsfunktionen eröffnet. Fokusvariable Linsen ermöglichen hier eine erhebliche Ausweitung des Arbeitsbereichs, zum Beispiel von unendlich bis auf wenige Millimeter. Im typischen optischen Aufbau wird die fokusvariable Linse dabei direkt vor einem Objektiv mit fester Brennweite montiert.

Für die Ansteuerung gibt es diverse Prinzipien: Ist dem System die Distanz zum Objekt bekannt, lässt sich der Arbeitsabstand in Form eines offenen Regelkreises direkt steuern, indem die Linse auf die entsprechende Brennweite eingestellt wird. Die Distanzinformation kann entweder von einem geeigneten Sensor bereitgestellt werden, oder das System weiß aufgrund der Programmierung, welches Objekt als nächstes geprüft wird. In diesem Modus sind Einstellzeiten des Fokus von 5 bis 15 ms möglich.



Der Hauptunterschied zwischen einer Optik mit fester Brennweite (links) und einer fokusvariablen Optik liegt im erweiterten Arbeitsbereich.





Das Optotune-Modell ,EL-16-40', eingebaut zwischen Kamera und Objektiv.

Ist die Distanz nicht bekannt, ist die Linse auch in einem Oszillationsmodus zu betreiben. Bei tiefen Frequenzen von beispielsweise 5 Hz lassen sich mehrere Bilder mit jeweils unterschiedlichen Arbeitsabständen aufnehmen, bis ein Code erfolgreich gelesen wurde. Dieser Ansatz ist zwar nicht besonders schnell, aber einfach zu implementieren und ohne Kalibrierung nutzbar.

Bei Frequenzen bis zu einigen 100 Hz lässt sich während der Verschlusszeit der gesamte Arbeitsbereich durchstimmen. Es resultiert ein Bild mit erweiterter Tiefenschärfe, allerdings bei vermindertem Kontrast, da sich die einzelnen ‚Bilder‘ mit unterschiedlichem Fokus während der Verschlusszeit additiv überlagern. Codes mit gutem Kontrast lassen sich so dennoch ohne weiteres erkennen.

Auch die Inspektion optischer Komponenten mit mehreren Oberflächen wie zum Beispiel Kameralinsen von Mobiltelefonen oder das Zählen von Partikeln in einem dreidimensionalen Flüssigkeitsvolumen sind Anwendungsbeispiele, in denen Optotune-Linsen sich als geeignetes Mittel erwiesen haben.

Bei Anwendungen, die eine hohe Vergrößerung erfordern, wird die fokusvariable Linse in der Regel zwischen Objektiv und Tubuslinse platziert. Der

erreichbare Z-Bereich hängt dabei vom Vergrößerungsfaktor ab. Ein typisches System erreicht bei einer 5-fachen Vergrößerung einen Z-Bereich von 16 mm. Wird die fokusvariable Linse von einer 12-Bit-Stromquelle betrieben, die 4096 Schritte erlaubt, ist eine axiale Auflösung von 4 µm erreichbar.

Anwendungen mit hoher Vergrößerung

Ein mögliches Anwendungsbeispiel für ein solches System ist die Prüfung von Leiterplatten. Die meisten Prüfmaschinen bewegen eine Kamera mit mechanischen Antrieben entlang der X- und Y-Achsen. Aufgrund von Verzerrungen der Leiterplatten, Ausrichtungsproblemen und Spiel in der Mechanik ist es schwierig, über den gesamten Prüfbereich fokussiert zu bleiben. Selbst bei 10-facher Vergrößerung lässt sich mit einer fokusvariablen Linse dank eines Z-Bereichs von 4 mm problemlos nachfokussieren. Auch hier ist zur Bestim-

mung des Arbeitsabstandes ein Sensor verwendbar, sofern die Leiterplatte über das Gesichtsfeld hinweg flach ist. Andernfalls lassen sich mit Autofokus-Algorithmen rasch einzelne Bildbereiche scharf stellen.

Stemmer Imaging vertreibt die fokusvariablen Linsen von Optotune bereits seit einiger Zeit. In Kombination mit Komponenten wie den geeigneten Beleuchtungen, Optiken und Kameras, dem Stromtreiber von Gardasoft sowie hilfreichen Service-Dienstleistungen wie Machbarkeitsstudien oder Unterstützung bei der Systemauslegung bietet das Unternehmen somit alles aus einer Hand, um die Nutzung dieser Technologie zu vereinfachen. *ik*



Peter Stiefenhöfer

leitet Marketing und Öffentlichkeitsarbeit bei Stemmer Imaging in Puchheim.