

Bionische Technik exakt analysiert

Eine Ultra-Highspeed-Kamera eignet sich für die komplexe Grundlagenforschung.

Kamillo Weiß

Zukunftsvisionen wie humanoide Roboter mit künstlichen Gelenken und Muskeln erfordern komplexe Grundlagenforschung. Das Max-Planck-Institut für intelligente Systeme in Stuttgart (MPI-IS) hat sich dieser Forschung verschrieben. Zur präzisen Betrachtung und Analyse dieser komplexen Vorgänge kommt eine Phantom Ultra Highspeed-Kamera zum Einsatz.

Um bionischen Gelenken Leben einzuhauchen, werden kleine, mit Flüssigkeit wie Pflanzenöl gefüllte Kunststoffbeutel elektrostatisch in Bewegung versetzt. Die Stärke und Form der angelegten elektrischen Spannung bestimmen die Bewegung. Diese soll beispielsweise den komplexen mechanischen Vorgang einer menschlichen Hand nachahmen. Mehrere Gelenke in beliebigen geometrischen Formen lassen sich hintereinander ähnlich einem Finger anordnen. Schließlich ist es ein gewaltiger Unterschied, ein rohes Ei oder ein mehrere Kilogramm schweres Objekt zu bewegen.

Die angelegte variable elektrische Spannung am Aktuator bzw. Gelenk



N. Kellaris et al., Adv. Sci., 8, 2100916 (2021)

Dieser dreiarmlige elektrohydraulische Greifer garantiert den schnellen und sicheren Zugriff leichter Objekte.



Die derzeit weltweit schnellste 4-Megapixel-Kamera bietet eine maximale Auflösung von 2048×1952 Pixel bei 6600 Bildern pro Sekunde und 12-bit Bildauflösung. Der austauschbare optionale CineMag-V-Speicher (Inset) bietet bis zu 8 TB und kann 288 GB Daten in weniger als fünf Minuten herunterladen.

ist in seiner ganzen Vielfalt von Rechtecks-, Dreiecks-, Sinus- und Linearspannung regelbar. Dies steuert sehr präzise die zeitlich abhängige Deformation der Beutel. Auf diese Weise ist es möglich, Bewegungen von Insektenbeinen nachzuahmen (Bionik). Von noch größerer Bedeutung ist die Nachbildung menschlicher Extremitäten. Eine Forschungsrichtung am MPI-IS in Stuttgart zielt darauf ab, diese vielschichtigen komplexen bionischen Vorgänge in seinen Grundlagen zu verstehen. Die Arbeiten sind auch unter dem Titel „SES-Gelenke“ (Spider-inspired Electrohydraulic Soft-actuated joints) bekannt.

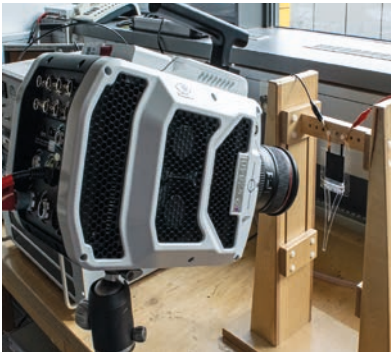
Mit neuester CMOS-Technologie liefert die Kamera Phantom v2640 von der High Speed Vision GmbH (Vertrieb) die erforderlichen Ultra Highspeed-Bildsequenzen für die genauen Bewegungsanalysen. Damit lassen sich quantitativ und qualitativ die Beschleunigung, Geschwindigkeit und das Bewegungsverhalten eines Gelenkarmes – extrem zeitgedehnt mit sehr hoher Bildauflösung – sehr

genau verfolgen. Erfasst man gleichzeitig die geometrische Verformung dieser Aktuatoren, einschließlich dem darin erfolgenden Fließen der Flüssigkeit (Strömungsverhalten), liefert dies Rückschlüsse auf viele andere wichtige Aspekte und Funktionsfaktoren. Die High-Speed-Videosequenzen ermöglichen eine detaillierte Bild-zu-Bild-Analyse bei Dehnungsraten bis zu 7000 Prozent pro Sekunde. Arbeitsbereiche von mehr als 100 000 Bildern pro Sekunde entsprechen einer Schrittweite von 0,01 Millisekunden. Diese werden zeitsynchron zu anderen Messdaten erfasst.

Millisekundenschnelle logische Vorgänge werden exakt komplett aufgezeichnet, um daraus präzise Aussagen zu extrahieren. Das erlaubt es, Bewegungsdifferenzen von 0,001 mm zu erfassen.

Vielseitige Präzision

Durch die Experimente ergeben sich ständig weiterführende Fragen und daraus neue Anforderungen an die



Mit diesen elektrohydraulischen Aktuatoren erfolgt die Nachahmung der Bewegungen von beispielsweise Insektenbeinen.

SES-Gelenke, die es zu untersuchen gilt. Mit Lasern sind nur punktuelle Messungen möglich, während Aufnahmen mit einer Ultra-Highspeed-Video-Kamera die gesamte Aktuator-Geometrie mit vielen präzisen Informationen genau verfolgen. So lassen sich neben der Beuterverformung und Gelenkbewegung auch winzige Luftblasen in der Flüssigkeit nachvollziehen. Dies liefert wichtige Hinweise auf das Strömungsverhalten der Flüssigkeit im Beutel, entsprechend der jeweils angelegten Spannung.

Vorteilhaft ist hier eine hohe Bildauflösung bei extrem hohen Bildraten. Entsprechend den hohen Anforderungen und vorausschauend auf die Anwendung weiterer Funktionen entschied man sich am MPI-IS für die Anschaffung der Phantom v2640. Die High Speed Vision GmbH stand beratend mit umfangreichem Know-how zur Verfügung.

Diese Kamera ist die weltweit schnellste 4-Megapixel-Kamera mit einer maximalen Auflösung von 2048×1952 Pixel, bei einer Frame-rate von 6600 Bildern pro Sekunde und 12-bit Bildauflösung. In reduzierter Auflösung sind 300 000 Bilder pro Sekunde möglich bei minimaler Belichtungszeit von 142 ns. Im Binned-Mode (2×2 Pixel) steigert sich die Lichtempfindlichkeit von Mono 16 000 ISO bis auf 25 000 ISO.

Die hohe Lichtempfindlichkeit ermöglicht Aufnahmen bei Tageslicht. Das erleichtert die Handhabung und vereinfacht den Versuchsaufbau erheblich, da keine aufwändige Zusatzbeleuchtung erforderlich ist, welche den Versuch beeinträchtigen könnte,

beispielsweise durch Wärmeeintrag. Die hohe Lichtempfindlichkeit bietet zudem den Vorteil, die Blende der Objektive weitgehend schließen zu können, um den Tiefenschärfebereich zu verbessern.

Kleine Details, große Wirkung.

Die Forschung zielt darauf ab, die gesamte Dynamik in allen Aspekten mit hoher Auflösung sehr präzise zu untersuchen. Die Kombination unterschiedlicher elektronischer Messtechnik mit den einzelnen Bildern der High-Speed-Videokamera zeitlich exakt synchronisiert, qualifiziert die Aussagen der jeweils erfassten Ereignisse. Die elektrohydraulischen „Muskeln“ bieten Vorteile gegenüber dem Verhalten und der Gestaltung von Elektromotorlösungen mit gleichen Aufgaben und Ergebnissen. Das ergibt für die SES-Gelenke eine hohe Sicherheit gegen Überlastung.

Durch die Hintereinanderschaltung mehrerer Gelenke und Finger lässt sich der Zugriff äußerst sensibel und vielseitig gestalten. Das erste Gelenk kann beispielsweise kraftvoll agieren, das letzte sehr sanft. Das bezieht sich nicht nur auf die jeweils ausgeübte Kraft, sondern auch auf die Beschleunigung der Gelenkteile. Künftig ist geplant, mit einer weiteren Kamera den 3D-Raum per Ultra-High-Speed-Video zu erschließen.

Diese einfach zu steuernden Aktuatoren funktionieren auch unter Wasser. Die Flüssigkeit in den Beuteln ist kaum kompressibel, sodass hiermit der gleiche sensible Zugriff möglich ist wie an Land. Die Gelenke ließen sich aber auch zur Desinfektion problemlos in Alkohol tauchen.

Grandiose Zukunft

Bionische elektrohydraulische Aktuatoren haben in der zukünftigen Soft-Robotik und anderen interagierenden Bereichen ein riesiges Potenzial in Gestaltung, Anwendung und Wirtschaftlichkeit. Die weich arbeitenden Gelenke sind einfach, leicht, extrem flink, raumsparend, sehr billig herstellbar, vielseitig zu gestalten von filigran bis robust, hygienisch pflegeleicht und wasserfest. Mehr-

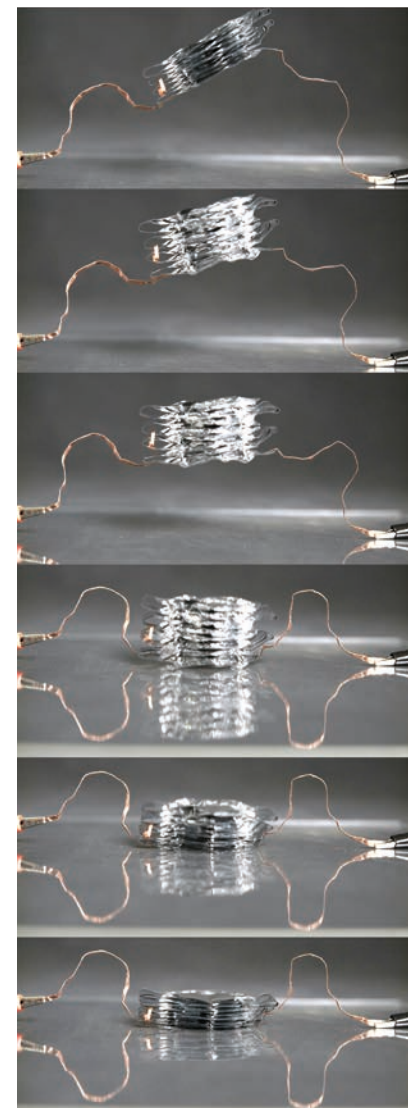
teilige Gelenke bieten Synergien, der mechanische Aufwand ist minimal, der Energieverbrauch gering, die Produktion ist leicht skalierbar, es können normale Kunststofffolien zum Einsatz kommen, und die Gelenke sind simpel digital steuerbar.

Weitere Informationen

- www.hsvision.de
- N. Kellaris et al., Adv. Sci. 8, 2100916 (2021)

Autor / Kontakt

Kamillo Weiß, Dipl.-Ing. (FH), Fachjournalist, Kamillo.Weiss@Kamillo-PR.de, Tel. 0711 755956; **High Speed Vision GmbH**, info@hsvision.de, 76275 Ettlingen, Telefon: 07243 94757-22



Die hohe Auflösung der Kamera ermöglicht es, Verformungen oder Änderungen der Bewegungsgeschwindigkeit der übereinander angeordneten Aktuatoren detailgenau zu erfassen.