Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 155 (1975)

Artikel: Objektives Sehen und Erkennen : messen

Autor: Dändliker, René

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90712

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

2. Objektives Sehen und Erkennen: Messen

René Dändliker
(Brown Boveri Forschungszentrum, CH-5401 Baden, Schweiz)

1. Einleitung

Der Mensch verfügt mit seinen Augen und seinem Gehirn über ein ausserordentlich gutes und leistungsfähiges System zum Sehen und Erkennen seiner Umwelt. Dieses subjektive visuelle Wahrnehmungssystem hat jedoch einen grossen Nachteil: es lässt sich leicht täuschen und ist deshalb in vielen Fällen für den objektiven Vergleich von Bildern und Gegenständen wenig geeignet. Deshalb hat der Mensch im Laufe der Jahre technische Hilfsmittel erfunden, die ein objektives Sehen und Erkennen bestimmter Bild- und Objekt-Eigenschaften ermöglichen. Diese Art des Sehens und Erkennens nennt man häufig Messen.

In Fig. 1 ist ein Beispiel dafür dargestellt. Höhe und Breite des Hutes in Fig. 1a scheinen auf Grund des subjektiven visuellen Eindrucks gleich zu sein. Im Gegensatz dazu scheint der Hut in Fig. 1b höher als breit zu sein. Ein objektiver Vergleich, z.B. mit einem Massstab, zeigt, dass Höhe und Breite des Hutes in Fig. 1b genau gleich sind. Ähnliche optische Täuschungen entstehen übrigens bereits bei viel einfacheren geometrischen Bildern und Mustern.[1)]

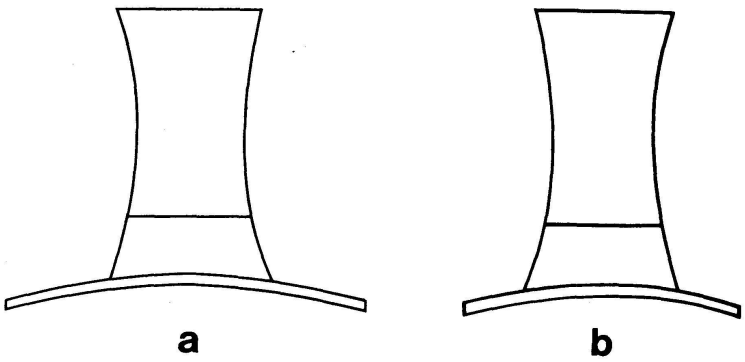

Fig. 1 Optische Täuschung beim Vergleich von Höhe und Breite eines Hutes.

2. Visierlinie

Eines der ältesten objektiven Mess-Hilfsmittel ist wahrscheinlich die Visierlinie zur Festlegung einer Geraden im Raum. Solche Visierlinien wurden jedenfalls schon sehr früh in der Geschichte der Menschheit verwendet, um die Bewegung von Sonne, Mond und Sternen zu vermessen und bestimmte Kalenderdaten, wie z.B. die Sommer-Tagundnachtgleiche, genau festzulegen. Ein berühmtes „Mess-Instrument" dieser Art von beinahe 100 m Durchmesser ist die Anlage von Stonehenge im Hügelland von Salisbury westlich von London, die genau auf den Sonnenaufgang der Sommer-Tagundnachtgleiche von 24. Juni 1680 v.Chr. ausgerichtet ist.[2)]

In der Landesvermessung, im Hoch- und Tiefbau, aber auch im Maschinenbau ist die Visierlinie noch heute ein wichtiges Messinstrument. Solange noch ein menschlicher Beobachter nötig ist, um die Koinzidenz zwischen Visiermarken festzustellen, bleibt allerdings ein gewisses Mass an Subjektivität übrig. Dies wird erst völlig ausgeschlossen, wenn die passive Visierlinie durch eine aktive Visierlinie, d.h. einen Laser-Lichtstrahl, ersetzt wird. Damit ist es möglich, dass sich ein photoelektrischer Detektor völlig objektiv und reproduzierbar die Mitte des Laser-Strahls und damit der Visierlinie suchen und finden kann. Solche Laser-Richtgeräte beginnen heute in vielen technischen Bereichen wie z.B. im Tunnelbau die passiven Richtinstrumente abzulösen.

3. Form- und Lagevergleich in der Ebene

Für einen Menschen ist es eine einfache und alltägliche Aufgabe, die Form und die Lage von zwei Objekten in der Ebene, z.B. auf einem Tisch, zu vergleichen. Dies ist eine typische Aufgabe zur Bestimmung der Korrelation

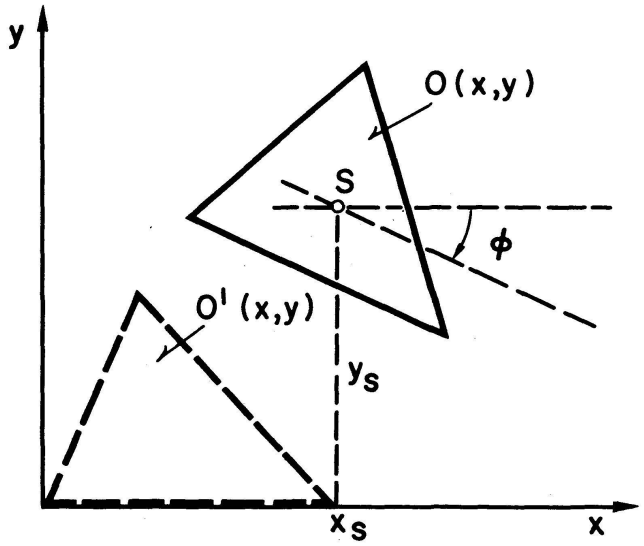

Fig. 2 Form- und Lagevergleich von ebenen Objekten.

zwischen zwei Bildern. Dazu ist das visuelle menschliche Wahrnehmungsvermögen besonders gut ausgebildet, und es fällt uns deshalb auch nicht schwer, die beiden Dreiecke in Fig. 2 durch Verschieben und Drehen des einen Dreiecks zur Deckung zu bringen. Wie schwierig und komplex diese Aufgabe jedoch wirklich ist, merkt man erst, wenn sie mit rein technischen Mitteln, z.B. durch einen Industrie-Roboter, gelöst werden soll.

Die kybernetische Lösung der Korrelationsaufgabe mit drei Freiheitsgraden, zwei Verschieberichtungen und die Drehung des Dreieckes, ist für eine technische Realisierung wenig geeignet, da der Aufwand an Regel- und Steuerautomatik beträchtlich wird, wenn die Aufgabe in weniger als einer Sekunde gelöst werden muss. In diesem Fall scheint es zweckmässiger zu sein, die Lage des Objektes in bezug auf ein festes Koordinatensystem zu vermessen und dann den Greifer des Roboters die bekannte Lage des Objektes auf einem günstigen Weg ansteuern zu lassen. Die Fläche

$$F = \int O(x, y)\, dx\, dy$$

des Objektes liefert bereits ein gutes Kriterium zur Unterscheidung verschiedener bekannter Objekte aus einer beschränkten Menge. Die Verschiebungslage kann unabhängig von der Drehlage durch die Koordinaten

$$x_S = \frac{1}{F} \int x\ O(x,y)\, dx\, dy, \quad y_S = \frac{1}{F} \int y\ O(x,y)\, dx\, dy$$

des Schwerpunktes S angegeben werden (Fig. 2). Diese drei Integrale über das Objekt O (x, y) lassen sich z.B. elektronisch aus dem Videosignal einer Fernsehkamera relativ einfach und schnell direkt bestimmen. In ähnlicher Weise erhält man auch noch die Drehlage des Objektes als Rotationswinkel ϕ um seinen Schwerpunkt.

4. Korrelation statistischer Muster

Die ausgesprochene Fähigkeit des menschlichen Wahrnehmungsvermögens zur Korrelation von Bildern äussert sich auch beim Erkennen von systematischen oder bekannten Strukturen, die durch ein statistisches Muster von Störungen, sog. Rauschen, überdeckt sind. Solche Störungen treten insbesondere auf bei der visuellen Beobachtung oder bei photographischen Aufnahmen von Gegenständen, die mit dem kohärenten Licht eines Lasers beleuchtet werden. Diese Erscheinung ist bekannt als Granulation oder Speckling[3]) und äussert sich als statistisches Muster von hellen und dunklen Flecken beliebiger Form, deren mittlere Grösse durch die Apertur (Blende) des abbildenden optischen Systems (Auge, Photoobjektiv) bestimmt ist und gerade der maximalen, beugungsbegrenzten Auflösung entspricht. Objektiv kann das Rauschen bei solchen Aufnahmen dadurch reduziert werden, dass man verschiedene Aufnahmen desselben Objektes mit statistisch unabhängigen Störungen mittelt oder optisch korreliert.[4])

Die optische Korrelation erhält man in einfacher Weise aus dem Beugungsmuster, das bei der kohärenten Beleuchtung der Überlagerung von zwei transparenten Bildern der beiden statistischen Muster entsteht. Zwei gegen-

einander verschobene, korrelierte Muster liefern Beugungsstreifen, die den klassischen Young-Streifen bei der Beugung an einem Doppelspalt entsprechen. Die Streifen sind senkrecht zur Richtung der Verschiebung, und der Streifenabstand ist umgekehrt proportional zum Betrag der Verschiebung. Diese Korrelationsmethode kann verwendet werden, um aus einer Doppelbelichtungsaufnahme eines kohärent beleuchteten Objektes die Verschiebung der Oberfläche infolge mechanischer Deformation zwischen den beiden Aufnahmen zu bestimmen.[5]

Ähnliche statistische Störungen treten auch bei der astronomischen Beobachtung von Sternen, die praktisch punktförmige Lichtquellen sind, als Folge der Luftturbulenzen in der Atmosphäre auf. Auch hier ermöglicht die optische Korrelation von vielen Einzelaufnahmen mit sehr kurzen Belichtungszeiten, kleiner als die Bewegung der Luftturbulenzen, das Auflösungsvermögen für Einfach- oder Doppelsterne beinahe bis zur Beugungsbegrenzung des Teleskopes zu steigern.[6]

5. Dreidimensionale Objekte und Holographie

Spezielle Probleme entstehen beim Sehen und Erkennen dreidimensionaler Objekte. Grundsätzlich erzeugt jede optische Abbildung, sei es mit dem Auge oder mit einer Kamera, ein zweidimensionales Bild des Gegenstandes. Auf Grund der Erfahrungen über die Art der möglichen Gegenstände, der Perspektive, der Schärfentiefe bei der Abbildung und der Parallaxe beim zweiäugigen Sehen ist der Mensch im allgemeinen trotzdem in der Lage, mit Hilfe der Bildverarbeitung im Gehirn eine dreidimensionale Vorstellung des Objektes zu bekommen. Dieses Vorstellungsvermögen funktioniert auch weitgehend bei der Betrachtung von zweidimensionalen Bildern wie Photographien oder Zeichnungen von dreidimensionalen Objekten. Da der Informationsgehalt des zweidimensionalen Bildes aber offensichtlich geringer ist als derjenige der echten, räumlichen Vorlage, treten in gewissen Fällen Schwierigkeiten und Mehrdeutigkeiten bei der Interpretation auf.

Eine solche Schwierigkeit bei der Darstellung eines durchsichtigen Würfels wurde bereits 1832 vom Schweizer Mineralogen L.A. Necker beschrieben. Wie in Fig. 3 dargestellt, ist es auch bei perspektivisch richtiger Zeichnung (oben) nicht möglich zu entscheiden, welche Ecke des Würfels vorne oder hinten ist. Durch geeignete Unterbrechungen der hinteren Kantenlinien (links, rechts) wird dieses Problem gelöst. Zeichnerisch lässt sich aber auf diese Weise in der Ebene auch ein dreidimensionales Gebilde darstellen (unten), das in Wirklichkeit gar nicht existieren kann. Dieses Phänomen hat sich 1958 der holländische Graphiker M.C. Escher als Konstruktionsgrundlage für die Zeichnung des Hauses „Belvédère" genommen,[7,8] das zwar bewohnbar aussieht, aber dennoch nicht als dreidimensionales Objekt existieren kann. Nach einem ähnlichen Prinzip ist auch seine Lithographie „Wasserfall" entstanden, welche scheinbar das Bild eines Perpetuum mobile ist.[8]

Die Holographie scheint ein Verfahren zu sein, mit dem es möglich ist, dreidimensionale Objekte aufzunehmen und räumlich echt wiederzugeben. In der Tat erscheint bei der Rekonstruktion eines Hologrammes für den Beobachter ein Gegenstand, der genauso anzuschauen ist wie der

ursprünglich aufgenommene. Alle gewohnten Effekte wie Perspektive, Parallaxe und Schärfentiefe sind richtig vorhanden.[9] Ein Hologramm ist jedoch nur eine zweidimensionale Speicherung der Interferenzen zwischen dem Wellenfeld des kohärent beleuchteten Objektes und einer ebenfalls kohärenten ebenen oder divergenten Referenzwelle. Bei der Rekonstruktion des Hologrammes mit derselben Referenzwelle entsteht zwar wieder das aufgenommene Wellenfeld mit richtiger Amplitude und Phase, aber dieses Wellenfeld enthält nur dann die vollständige Information über das räumliche Objekt, wenn es sich um die zweidimensionale Oberfläche eines undurchsichtigen Gegenstandes handelt. Für durchsichtige Objekte oder Phasenobjekte, wie sie häufig in der biologischen Mikroskopie vorkommen, kann aus einem einzigen Hologramm nicht eindeutig auf die dreidimensionale Struktur geschlossen werden.[10] Ausserdem kann man durch Umkehrung der Referenzwelle resp. der Hologrammplatte ein rekonstruiertes Wellenfeld erzeugen, das einem scheinbaren Objekt entspricht, das in Wirklichkeit nicht existieren kann, ähnlich wie bei den erwähnten Bildern von

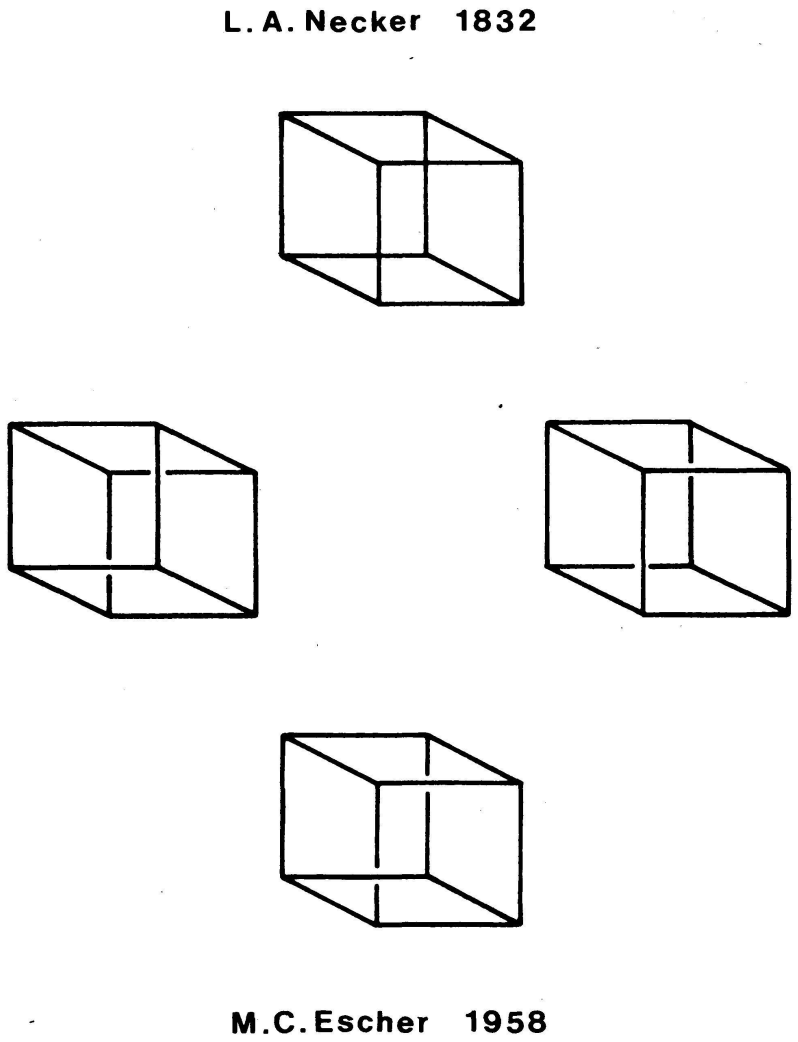

Fig. 3 Mehrdeutigkeiten bei der ebenen Darstellung räumlicher Objekte.

M.C. Escher. Bei dieser sog. pseudoskopischen Rekonstruktion erscheint das Objekt mit umgekehrtem Relief, d.h. konkav statt konvex, und es werden nähere Objektteile von weiter entfernten verdeckt.[11]

6. Holographische Interferometrie

Da mit Hilfe der Holographie das Wellenfeld eines kohärent beleuchteten Objektes mit der richtigen Amplitude und Phase gespeichert und rekonstruiert werden kann, ist es möglich, solche Wellenfelder zu einem späteren Zeitpunkt zu überlagern und miteinander interferieren zu lassen.[9] Bei der holographischen Interferometrie durch Doppelbelichtung wird das untersuchte Objekt bei zwei verschiedenen Deformationszuständen holographisch auf derselben Photoplatte aufgenommen. Die gleichzeitige Rekonstruktion dieser beiden Hologramme liefert ein Bild des Objektes, das mit einem Interferenzstreifenmuster überdeckt ist. Diese Streifen entsprechen Höhenlinien der Oberflächenverschiebung in einer bestimmten Richtung oder der Änderung der optischen Dicke bei durchsichtigen Objekten. Die optische Wegänderung zwischen zwei benachbarten Streifen ist gleich der verwendeten Lichtwellenlänge, d.h. etwa 0,5 μm. Die holographische Interferometrie wird eingesetzt bei der Untersuchung von Strömungen, Gasentladungen, Plasmen sowie Schwingungen und Deformationen von mechanischen Bauteilen. Solche Aufnahmen eignen sich vor allem zur qualitativen Beurteilung der Deformation auf Gleichmässigkeit. Extremstellen und allgemeinen Verlauf. Durch den Einsatz optoelektronischer Mittel kann jedoch das Interferenzmuster auf einen Bruchteil von weniger als einem Hundertstel Streifenabstand genau und objektiv vermessen werden.[12] Damit wird die holographische Interferometrie zu einem Messinstrument, mit dem für jede Stelle des aufgenommenen Objektes die Oberflächenverschiebung als Zahlenwert abgelesen werden kann. Daraus lässt sich dann die Dehnung und mechanische Beanspruchung des Objektes berechnen.

Literatur:

1 S. Tolansky, „Optical Illusions", Pergamon Press, 1964.
2 J. Hawkes, „Stonehenge", Scientific American, 188 (6), 25–31 (1953).
3 J.W. Goodman, „Statistical Properties of Laser Speckle Patterns", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 9–75.
4 T.S. McKechnie, „Speckle Reduction", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 123–170.
5 A.E. Ennos, „Speckle Interferometry", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 203–253.
6 J.C. Dainty, „Stellar Speckle Interferometry", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 255–280.
7 M.L. Teuber, „Sources of Ambiguity in the Prints of Maurits C. Escher", Scientific American, 231 (1), 90–104 (1974).
8 „Die Welten des M.C. Escher", Heinz Moos Verlag, München, 1971;
„M.C. Escher, Graphik und Zeichnungen", Heinz Moos Verlag, München, 1967.
9 K.S. Pennington, „Advances in Holography", Scientific American, 218 (2), 40–48 (1968).

10 R. Dändliker, K. Weiss, „Reconstruction of the Three-Dimensional Refractive Index from Scattered Waves", Optics Commun. 1, 323-328 (1970).
11 F.B. Rotz, A.A. Friesem, „Holograms with Nonpseudoscopic Real Images", Appl. Phys. Letters, 8, 146–148 (1966).
12 R. Dändliker, B. Ineichen, F.M. Mottier, „High Resolution Hologram Interferometry by Electronic Phase Measurement", Optics Commun. 9, 412–416 (1973).