

Joachim Weickert ist Professor für Mathematik und Informatik an der Universität des Saarlandes. Zusammen mit seiner interdisziplinären Arbeitsgruppe erforscht er mathematisch fundierte Verfahren für die digitale Bildverarbeitung und den Computer-Vision-Bereich. Viele der von ihm entwickelten Modelle beziehen ihre Inspiration aus physikalischen Vorgängen wie Diffusion oder Wärmeleitung. Sie werden in der Sprache der Mathematik modelliert, auf Computern effizient simuliert und kommen in einem breiten Spektrum von Anwendungen zum Einsatz. Im Folgenden werden vier Gebiete vorgestellt, die in der Forschung von Joachim Weickert eine besonders wichtige Rolle spielen.

Diffusionsprozesse zur Bildaufbereitung

Jeder Mensch hat ein intuitives Verständnis von Diffusion als einem Ausgleichsvorgang, bei dem sich unterschiedlich verteilte Konzentrationen einer Substanz im Laufe der Zeit immer mehr annähern. Diesen ausgleichenden Effekt kann man in der digitalen Bildverarbeitung nutzen, um verrauschte Bilder zu glätten. So kann man etwa bei einem Grauwertbild die Grauwerte in den einzelnen Bildpunkten (Pixeln) als Konzentrationen auffassen: Helle Strukturen entsprechen hohen Konzentrationen, dunkle Pixel sind Orte niedriger Konzentration. Rauschen äußert sich in starken Schwankungen benachbarter Werte. Diffundiert man nun diese Grauwerte, so gleichen sie sich an, und Rauschen wird wirkungsvoll entfernt.

So einfach diese Idee zunächst klingt, so problematisch kann sich ihre Umsetzung in der Praxis gestalten: Indem man Grauwertunterschiede durch Diffusion reduziert, beseitigt man nicht nur Rauschen, sondern zerstört auch wichtige Bildstrukturen wie zum Beispiel Kanten. Die Kunst besteht nun darin, Diffusionsprozesse so zu steuern, dass sie diese Strukturen erkennen und nicht wegglätten. Joachim Weickert hat hierzu eine Reihe von Modellen entwickelt, die es erlauben, Diffusionsrichtungen an die Bildstrukturen anzupassen und damit wichtige Strukturen nicht nur zu erhalten, sondern sie sogar noch zu verstärken. Damit wird es beispielsweise möglich, massives Rauschen aus medizinischen Ultraschallbildern zu entfernen oder Mammografieaufnahmen so aufzubereiten, dass kleine Verkalkungen besser sichtbar werden und so eine erfolgreichere Krebsfrühdagnostik möglich wird. Andererseits kann man aber auch dreidimensionale seismische Datensätze so filtern, dass Verwerfungen zwischen einzelnen Schichten besonders deutlich werden und damit die Suche nach Erdöllagerstätten erleichtert wird. Nicht zuletzt ist es auch möglich, eigene Bilder so zu verfremden, dass sie aussehen wie ein Gemälde von van Gogh.

All diese vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten sind Ausgestaltungen einer allgemeinen Theorie der Diffusionsfilterung, die Joachim Weickert in seiner Dissertation begründet hat und die zur ersten Monografie auf diesem Gebiet geführt hat. Sie stellt einfache Kriterien auf, um zuverlässige und

fundierte Filter zu entwickeln. Mit über 1.100 Zitationen gehört dieses Buch zu den meistzitierten Werken im Bereich der mathematischen Bildverarbeitung.

Filterung von Tensorfeldern

Grauwertbilder geben pro Pixel lediglich einen einzigen Wert vor, während Farbbilder ein Zahlenschema aus drei Werten (rot, grün, blau) festlegen. In jüngster Zeit werden jedoch in den Ingenieur- und Naturwissenschaften eine Reihe von Anwendungen immer wichtiger, bei denen man in einem einzelnen Punkt nicht einen oder drei Messwerte ermittelt, sondern eine 3×3 -Matrix mit neun Werten. Solche Datensätze bezeichnet man als Tensorfelder. Sie erlauben die Messung von richtungsabhängigen Größen. Beispielsweise kann man in der Diffusionstensor-Magnetresonanztomografie (DT-MRT) die bevorzugten Diffusionsrichtungen von Wassermolekülen im jedem Punkt des Gehirns eines Patienten messen. Leidet ein solcher Patient an einem Schlaganfall, so kann die Konnektivität zwischen einzelnen Regionen gestört sein. Dies lässt sich in den DT-MRT-Daten nachweisen.

Genau wie bei herkömmlichen Digitalbildern entsteht auch bei Tensorfeldern der Wunsch, die Daten aufzubereiten und computergestützt zu interpretieren. Man möchte sie beispielsweise entauschen, unvollständige Daten ergänzen oder den Datenbereich segmentieren, das heißt in möglichst gleichmäßige Bereiche zerlegen. Leider ist die Verarbeitung von Tensorfeldern deutlich schwieriger als die Verarbeitung klassischer Bilddaten und war bis vor einigen Jahren nahezu unerforscht. Joachim Weickert hat die Wichtigkeit von Signalverarbeitungsverfahren für Tensorfelder schon frühzeitig erkannt: Er war Mitorganisator der ersten Workshops zu diesem Thema und hat die ersten Bücher hierzu mitherausgegeben. Seine Arbeitsgruppe hat zahlreiche neue Verfahren für Tensorfelder entwickelt und allgemeine mathematische Prinzipien aufgestellt, wie man herkömmliche Bildverarbeitungsverfahren auf Tensorfelder verallgemeinern kann.

Bewegungsanalyse in Bildfolgen

Geht man von Einzelbildern zu Bildfolgen (Videos) über, so besteht ein Schlüsselproblem im Computer-Vision-Bereich darin zu analysieren, wohin sich die einzelnen Objekte von einem Bild zum nächsten bewegen. In der Gruppe von Joachim Weickert wurden zahlreiche neue Modelle hierzu erforscht, die auf Optimierungsprinzipien (sogenannten Variationsansätzen) beruhen und zu den weltweit genauesten Verfahren zählen. Darüber hinaus wurden echtzeitfähige Algorithmen entwickelt, mit denen diese mathematisch fundierten und hochgenauen Verfahren auch bei zeitkritischen Anwendungen eingesetzt werden können. Diese Arbeiten wurden mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet. Die Einsatzgebiete dieser Verfahren reichen von zukünftigen Fahrerassistenzsystemen, die den Fahrer warnen, wenn ein kleines Kind vor ihm über die Straße rennt, bis hin zu Anwendungen in Hollywood-Filmstudios. Ähnliche Ideen haben sogar in eine

vollautomatische Software zur Frisurensimulation Eingang gefunden, bei der die Kundin eines Friseursalons am Computer testen kann, wie sie mit ihrer Wunschfrisur aussehen würde.

Neue Verfahren zur Bildkompression

Komprimierte Bild- und Videoformate wie JPEG oder MPEG sind in Digitalkameras und im Internet weit verbreitet. Bei hohen Kompressionsraten büßen sie jedoch einen erheblichen Teil ihrer Qualität ein. Joachim Weickert arbeitet an alternativen Ansätzen, die völlig anders aufgebaut sind und auch bei hohen Kompressionsraten eine gute Qualität liefern sollen. Bei ihnen wird lediglich ein geringer Teil der Bilddaten gespeichert. Die fehlenden Daten werden durch Prozesse rekonstruiert, die Ideen aus der Wärmeleitung ausnutzen: Hierzu interpretiert man die gespeicherten Pixel als kleine Heizkörper in einem isolierten Raum, die mit einem Thermostat auf eine feste Temperatur eingestellt sind, die ihrem Grauwert entspricht. Hat sich nach einiger Zeit ein stabiler Zustand der Wärmeausbreitung eingestellt, so entspricht die Temperaturverteilung im Raum dem rekonstruierten Bild. Diese verblüffend einfache Idee soll nicht zuletzt auch mit Hilfe des Leibniz-Preises wissenschaftlich so weit weiterentwickelt werden, dass sie leistungsfähiger als die bisherigen Kompressionsstandards wird. Gelingt dies, könnte das neben dem MP3-Standard für Audiodaten ein weiterer deutscher Erfolg im Kompressionsbereich werden, der auch international Signalwirkung hätte.