Fotos: Original-Bildstapel B. Hense

Aus einer Reihe von Lichtmikroskopaufnahmen einer Alge segmentieren die Wissenschaftler der TUM mit mathematischen Methoden die scharfen Bereiche aus jedem Einzelbild. Danach setzen sie die Bildbestandteile zu einem höherwertigen Gesamtbild zusammen. Das

Mit kleinen Wellen zum scharfen Bild

Die Forschungsgruppe MAMEBIA entwickelt mathematische Methoden zur Analyse biologischer Bilddaten. Die Wissenschaftler haben das Ziel, bessere Informationen aus Aufnahmen im Mikro- und Nanobereich der Lebenswissenschaften zu gewinnen

Das Bild ist unscharf. Das wichtige Detail, ein Tumor, klein, im Frühstadium, verschwindet im großen Ganzen des umliegenden Gewebes. Eine Früherkennung durch den Pathologen ist nahezu ausgeschlossen. Hier hilft keine Brille für den Mediziner, kein Zweitgutachten von einem Kollegen, keine weitere Aufnahme unter dem Lichtmikroskop. Hier hilft nur eines weiter: Mathematik.

„Seit November 2005 entwickeln wir mathematische Methoden für die biologische Bildanalyse mit Schwerpunkt auf komplexwertigen Methoden und Phaseninformation“, sagt die Projektinitiatorin und -leiterin Prof. Dr. Brigitte Forster-Heinlein. Wir, das sind sieben Mathematiker aus Frankreich, Iran, Deutschland und den USA. Das Marie-Curie-Excellence-Team MAMEBIA (Mathematical Methods in Biological Image Analysis) hat sie zusammengebracht, ein Gemeinschaftsprojekt des Helmholtz-Zentrums München mit der TUM, das die Europäische Kommission mit 750 000 Euro über drei Jahre finanziert. Im Mittelpunkt der Forschung stehen Wavelets, mathematische Funktionen, mit denen Bilder scharf gemacht, entrauscht und wichtige Bilddetails herausgearbeitet werden können. Das Wort Wavelet ist eine wörtlich-phonetische Übertragung des französischen ondelette ins Englische (onde => wave, lette => let) und bedeutet „kleine Welle“.

Link
www.mamebia.de

Fotos links: Original-Bildstapel B. Hense; Bilder rechts: TUM

vereinfacht und beschleunigt dem Biologen die Analyse der Algen-Segmente, um daraus Rückschlüsse auf die Wasserqualität zu ziehen. Dieser Vorgang der Bildbearbeitung mit mathematischen Mitteln wird auch in der medizinischen Bildanalyse angewandt

Bild ⇨ Koeffizientenmatrix ⇨ manipulierte Koeffizientenmatrix ⇨ neues Bild

Transformation | Manipulation | Rücktransformation

Grafik: ediundsepp nach Prof. Dr. Forster-Heinlein

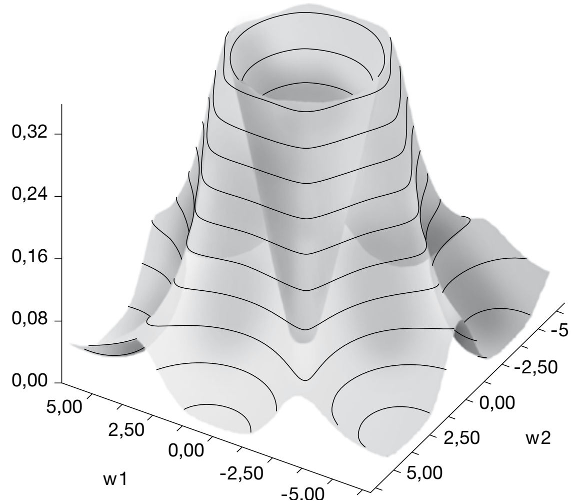
Bildtransformation

Ein Bild ist eine Summe von Frequenzanteilen, die sich als Funktionen darstellen lassen. Die Mathematiker der Forschungsgruppe MAMEBIA überführen diese Funktionen in eine Koeffizientenmatrix und verändern einzelne Terme, die zum Beispiel für Bildunschärfe verantwortlich sind. Über die Rücktransformation der manipulierten Matrix entsteht ein höherwertiges Bild.

Transformation + Manipulation = Information

Wie gewinnt das MAMEBIA-Team zusätzliche Bildinformationen mittels mathematischer Funktionen? Ähnlich wie die Musik eines Orchesters ist ein Bild eine Summe von Signalen bzw. Frequenzen. Diese Frequenzanteile lassen sich als Funktionen und die zugehörigen Koeffizienten in einer Koeffizientenmatrix darstellen. Das Bild wird so zu einer Matrix von Zahlen. Diese Veränderung der Darstellungsform nennt man Transformation. Die Koeffizientenmatrix lässt sich je nach Zielsetzung manipulieren: Wollen die Wissenschaftler zum Beispiel das Bild entrauschen, identifizieren sie die Terme, die für das Rauschen verantwortlich sind. Danach werden sie entfernt. Über die Rücktransformation entsteht ein Bild mit erhöhter Bildqualität und damit hervorgehobenen Bildinformationen. Analog ist die Vorgehensweise bei Bildunschärfe. „Das Bild wird zerlegt und rekonstruiert", bringt es die promovierte Mathematikerin und MAMEBIA-Mitglied Azita Mayeli auf den Punkt.

Transformation ist jedoch nicht gleich Transformation. Die klassische Methode der mathematischen Bildanalyse, die Fourier-Transformation, basiert auf Sinus- und Cosinus-Funktionen. „Mit dieser Methode lassen sich lokale Eigenschaften eines Signals nicht identifizieren. Eine lokale Frequenzveränderung verursacht eine Veränderung auf der gesamten Zeitachse", erklärt Forster-Heinlein den Nachteil der Fourier-Transformation. Anders ausgedrückt: Die Fourier-Transformation betrachtet das zu transformierende Signal als Gesamtobjekt. Sie liefert globale Frequenzinformationen. Wavelets hingegen besitzen Lokalität im Frequenzspektrum und im Zeitbereich. „Mit Wavelets kann man ▷



Grafik: ediundsepp nach Prof. Dr. Forster-Heinlein

Was sind Wavelets?

„Wavelets sind mathematische Funktionen, die akustische und optische Signale auf die enthaltenen Frequenzbestandteile untersuchen“, erklärt MAMEBIA-Mitglied Dr. Laurent Condat das Geheimnis der kleinen Wellen. Wavelets können an eine bestimmte Stelle des Signals verschoben werden. Übereinstimmungen mit dem Signal lassen sich mittels Strecken und Stauchen der Wavelet-Kurve ermitteln. Dadurch können Detailinformationen des Signals gewonnen werden. So kann z.B. Musik mit Wavelets in einzelne Bestandteile (Frequenzanteile) zerlegt (transformiert) werden. Handelt es sich um eine alte Aufnahme, lassen sich die Bestandteile, die für schlechte Tonqualität verantwortlich sind, identifizieren und entfernen. Fügt man die verbleibenden Bestandteile wieder zusammen, erklingt die Musik in reinen Tönen.

Mit derartigen Wavelet-Funktionen können Bilder analysiert und Details herausgeholt werden. Dazu wird das Wavelet gestaucht, gestreckt und über das Bild verschoben, um lokale Korrelationen mit dem Bild zu messen

bestimmte Stellen eines Signals analysieren und damit ungeahnte Detailinformationen aus den Bildern herausholen“, sagt Forster-Heinlein.
Auf einen weiteren Vorteil von Wavelets weist Teammitglied Dr. Peter Massopust hin: „Fourier betrachtet nur die Größe der Koeffizienten, nicht aber die Richtung der Funktion. Eine lokale Phasenbetrachtung gibt aber Auskunft über Richtungsentwicklungen und Größe.“ Ein entscheidender Vorteil.

„Es ist da etwas, das da nicht hingehört“

Medizinische Diagnostik und Früherkennung lassen sich durch mathematische Bildanalysen weiter verbessern. Aber wie lässt sich nun ein Tumor im Frühstadium durch mathematische Bildanalyse identifizieren? Peter Massopust: „Das gesuchte Objekt ist klein und im Bild nicht erkennbar. Dennoch ist da etwas, das da nicht hingehört. Der Tumor muss vom Rest des Gewebes differenziert, die Geschwulst eingegrenzt, also segmentiert, und die Ränder identifiziert werden – und die Ränder sind richtungsabhängig.“ Teammitglied Dr. Gunter Semmler ergänzt: „Wir müssen den Krebs vom Hintergrund trennen. Dafür sind Richtungsinformationen wichtig. Richtungen sind aber auch von Bedeutung, um festzustellen, in welchem Stadium Zellen sind und wohin sie sich ausdehnen werden.“
Um den Tumor zu entdecken, konstruieren die Wissenschaftler Wavelets, die das gesuchte Objekt mathematisch abbilden. Danach gleichen sie die Wavelet-Funktion mit den Bilddaten über ein eigens entwickeltes Softwareprogramm ab. Bei Übereinstimmung von Bildsignalen mit dem Wavelet ist das gesuchte Objekt identifiziert und lokalisiert. Der relevante Bildausschnitt lässt sich nun vergrößern, entrauschen und der Tumor sich sogar farblich hervorheben. „Die Wavelet-Transformation macht das Bild schärfer und verdeutlicht die Grenzen des Tumors. Das Wavelet ist wie ein Zoom, das die wichtigen Bildinformationen hervorhebt“, erläutert Azita Mayeli den Vorgang. Nach der Rücktransformation ist das Objekt für den Pathologen sichtbar – und die Krankheit diagnostizierbar.

Mediziner und Mathematiker in einem Boot

MAMEBIA ist anwendungsorientierte Grundlagenforschung. Eine enge Absprache mit Biologen und Medizinern ist notwendig, damit das Forschungsteam mathematische Methoden der Bildanalyse entwickeln kann, die auch von praktischem Interesse sind.
Nur wenn die Wissenschaftler der Life Sciences präzise definieren, was sie suchen, kann die Bildtransformation Ergebnisse liefern, die besser interpretierbar sind als das Original. Interdisziplinäre Wissenschaft zum Nutzen für die Allgemeinheit heißt die Losung, alle Mann in ein Boot. Die Grundlagen liefert die Mathematik.
„Die Zeiten, in denen Wissenschaftler der Disziplinen abgeschottet für sich arbeiteten, diese Zeiten sind vorbei“, sagt Peter Massopust überzeugt, lächelt und wirft einen Blick auf die Wandtafel mit einer endlos langen Differenzialformel, die sich nur mühselig auf einer Fläche von 2,5 x 2 m bändigen lässt. Die Bedeutung dieser Funktion bleibt dem Nichtmathematiker ein Rätsel – ihr Nutzen liegt auf der Hand. *Odin Hug*