UNIVERSITÄT BASEL

Prof. Dr. Thomas Vetter
Departement Mathematik und Informatik

Spiegelgasse 1
CH – 4051 Basel

Patrick Kahr (patrick.kahr@unibas.ch)
Clemens Büchner (clemens.buechner@unibas.ch)

Computer Grafik 2019 - Übungsblatt 2

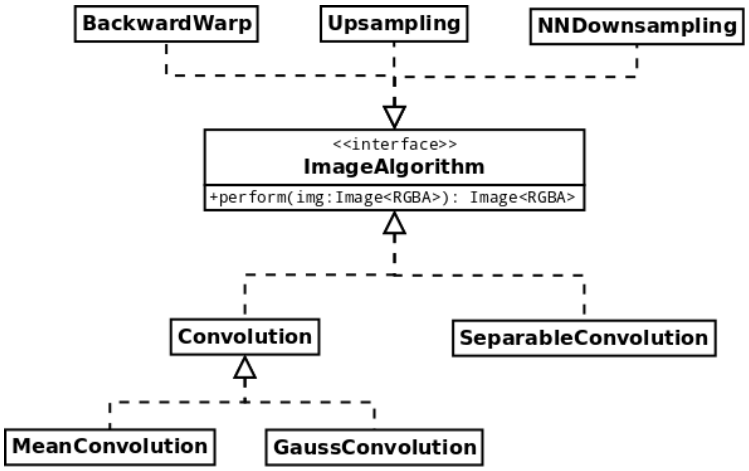
Ausgabe in Woche 3 (07.03.2019).

Vorführung der laufenden Programme im Tutorium Woche 6 (Abgabe 28.03.2019).

Maximal zu erreichende Punktzahl: 20

In diesem Übungsblatt werden Sie einige wichtige und häufig verwendete Algorithmen der digitalen Bildbearbeitung implementieren. Checken Sie die benötigten Dateien aus dem Git Repository aus.

Die Klassenstruktur dieses Aufgabenblattes ist wie folgt aufgebaut:



Die Klassen befinden sich alle in (Sub-) Packages von image.processing.

Aufgabe 1 - Faltung (8 Punkte)

In dieser Aufgabe sollen Sie das Faltunsprodukt mit verschiedenen Kernels implementieren. Ein Kernel wird in unserem Fall als Image<Float> dargestellt.

a) Mean und Gauss Kernel (2 Punkte)
Zuerst bauen wir uns ein paar Kernel: einen Mittelwerts- und einen Gauss-Filter. Vervollständigen Sie dazu die Methode getKernel() in den Klassen MeanConvolution und GaussConvolution.

Zur Erinnerung: Der Mean Kernel berechnet den Mittelwert der Pixel in einer bestimmten Nachbarschaft (bestimmt durch die Variable size). Ein 2D Gauss Filter ist definiert als

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2+(y-\mu_y)^2}{2\sigma^2}}$$

Dabei ist der Punkt (μ_x, μ_y) das Zentrum des Kernels und σ die gewählte Standardabweichung.

Hinweis: Der Gauss Kernel sollte mit der Summe seiner Einträge normiert werden.

Benötigte Dateien: image.processing.convolution.MeanConvolution.java, image.processing.convolution.GaussConvolution.java

b) Convolution (2 Punkte)
Nun können wir die eigentliche Faltung, die Sie in der Vorlesung besprochen haben, implementieren. Vervollständigen Sie dazu die Methode perform(..) der Klasse Convolution. Beachten Sie, dass eine Faltung am Rand des Bildes immer auf Werte ausserhalb des Bildes zugreift. Normalerweise müsste man deshalb eine spezielle Randbehandlung einführen. Dies wurde für Sie in der Methode get(..) der Image Klasse übernommen (bei Zugriff ausserhalb des Bildes wird der nächste Randwert zurückgegeben). Sie brauchen sich also nicht darum zu kümmern.

Hinweis: Die Methode printKernel() könnte für das Debugging hilfreich sein ...

Benötigte Dateien: image.processing.convolution.Convolution.java

c) Separable Convolution (2 Punkte)
Separierbare Filter haben die Eigenschaft, dass sie sich als Multiplikation eines Vektors mit sich selbst darstellen lassen. Beispiel:

$$\frac{1}{16}\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{4}(1 \quad 2 \quad 1) \cdot \frac{1}{4}(1 \quad 2 \quad 1)^T$$

Diese Eigenschaft hat zur Folge, dass eine Faltung realisiert werden kann, indem zuerst alle Zeilen des Bildes und danach alle Spalten des Ergebnisbildes mit dem 1D-Kernel gefaltet werden. Dies ist effizienter als eine volle 2D-Faltung. Der Gauss Kernel ist ein Beispiel für einen separierbaren Filter. In dieser Aufgabe sollen Sie:

- Herausfinden wie viel effizienter die Faltung mit einem separierbaren Kernel ist.
- einen separierbaren Gauss Kernel in der Klasse GaussSeparableConvolution implementieren und
- die separable Faltung in der Klasse SeparableConvolution realisieren. Beachten Sie hierbei, dass wirklich zuerst alle Zeilen und danach alle Spalten mit einem 1D Kernel gefiltert werden.

Ein 1D Gauss Filter ist von der Form:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma^2}}$$

Benötigte Dateien: image.processing.convolution.SeparableConvolution.java, image.processing.convolution.GaussSeparableConvolution.java

d) Weitere Kernel (2 Punkte)
In dieser Teilaufgabe werden wir ein paar weitere Kernel generieren. Oftmals ist es von Interesse, in einem Bild die Kanten zu detektieren. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Mit einem Laplace Kernel: $-\frac{1}{8}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
- Mit einem Sobel Kernel (in horizontaler Richtung): $\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$. Der Sobel Kernel ist nichts weiteres als eine Approximation an den Gradienten an einer bestimmten Stelle.

Implementieren Sie diese zwei Kernel in der getKernel() Methode der jeweiligen Klassen.

Beachten Sie, dass bei diesen Kernel negative Farbwerte entstehen können. Dieser Umstand wird von uns abgefangen, indem das resultierende Bild normalisiert, d.h. alle Farbwerte ins Interval $[0, 1]$ skaliert werden.

Benötigte Dateien: image.processing.convolution.LaplaceConvolution.java, image.processing.convolution.SobelHConvolution.java

Aufgabe 2 - Skalierung (6 Punkte ⋆)

In dieser Aufgabe geht es darum, verschiedene Verfahren zur Bildvergrösserung und Bildverkleinerung kennenzulernen. Der Einfachheit halber beschränken wir uns dabei auf eine Skalierung um den Faktor 2.

a) Downsampling (2 Punkte)
Die einfachste Methode ein Bild zu verkleinern, bezeichnet man als Nearest-Neighbour-Downsampling oder auch Subsampling. Hierbei wird einfach jedes zweite Pixel ausgelassen. Implementieren Sie dieses Verfahren in der Methode perform(..) der Klasse NNDownsampling.

Dieses Verfahren führt allerdings zu Artefakten. Ein besseres Resultat erhält man, wenn man die hohen Frequenzen aus dem Bild herausschneidet, bevor man es verkleinert. Implementieren Sie dieses Verfahren in der Klasse GaussianDownsampling indem Sie das zu verkleinernde Bild vor der Skalierungsoperation mit einem Gauss Kernel filtern. Verwenden Sie dazu Ihren Gauss Filter aus der vorigen Aufgabe ($size = 5, \sigma = 1$). Sehen Sie die Verbesserung?

Benötigte Dateien: image.processing.scaling.NNDownsampling.java,
image.processing.scaling.GaussianDownsampling.java

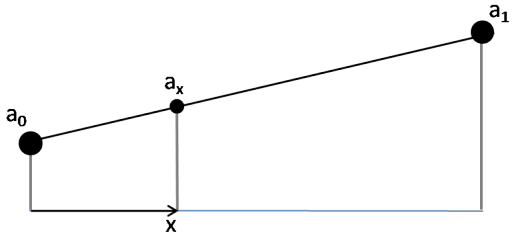
b) Upsampling (1 Punkt)
Das Vergrössern von Bildern gestaltet sich ein bisschen schwieriger. Beim Downsampling konnten wir einfach Informationen weglassen, jetzt müssen wir neue Informationen aus bestehenden interpolieren. Auch dafür gibt es wiederum verschiedene Verfahren. Das einfachste - die Nearest Neighbour Interpolation - wurde für Sie implementiert. Hierbei wird die Farbe eines Pixels auf den Farbwert des nächsten umliegenden Pixels gesetzt. Schauen Sie sich diese Implementierung in der Klasse NNInterpolation an.

Implementieren Sie dann die Methode perform(..) in der Klasse Upsampling um die Nearest Neighbour Interpolation zu visualisieren. Verwenden Sie die Methode access(..) der Membervariable interpolation um auf einen Pixel im zu vergrössernden Bild zuzugreifen.

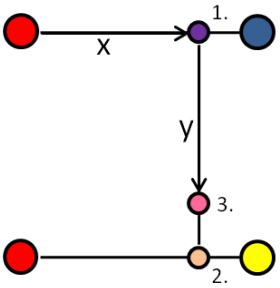
Benötigte Dateien: image.processing.scaling.NNInterpolation.java,
image.processing.scaling.Upsampling.java

c) Interpolation (3 Punkte)
Das Upsampling mit Nearest Neighbour Interpolation kann heftige Artefakte verursachen. Wir wollen deshalb zwei bessere Verfahren ansehen, um Pixelwerte zu interpolieren.

- Bilineare Interpolation:
  Bei der eindimensionalen, linearen Interpolation konstruiert man eine Gerade $g\colon \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ auf Grund zweier Punkte (auch Stützstellen genannt) und setzt den interpolierten Wert an der Stelle x als: $a_x = xa_1 + (1-x)a_0$.



  Angewandt auf ein Bild können wir einen Punkt einfärben, indem wir die Farbwerte seines linken und rechten Pixelnachbarn als Stützstellen betrachten. Da unser Bild zweidimensional ist, müssen wir die lineare Interpolation sowohl in x wie auch in y-Richtung vornehmen (deshalb auch bilineare Interpolation). Wir betrachten im Ganzen also 4 Nachbarpixel:



  Implementieren Sie dies in der Methode access der Klasse BiLinearInterpolation.

- Bikubische Interpolation:
  Bei der kubischen Interpolation wollen wir anstelle einer Geraden ein Polynom $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ dritten Grades interpolieren:

$$f(x) = px^3 + qx^2 + rx + b$$

  Um die 4 unbekannten Parameter p, q, r, b zu bestimmen, brauchen wir 4 Stützstellen. Angenommen die Stützstellen seien a, b, c und d, dann können wir einen Punkt $x \in [0, 1]$ interpolieren, indem wir setzen:

$$\begin{aligned} p &= (d-c) - (a-b), \\ q &= 2(a-b) - (d-c), \\ r &= c - a. \end{aligned}$$

  Auf ein Bild angewandt, entsprechen die Stützstellen den beiden linken und den beiden rechten Pixelnachbarn eines Punktes. Dehnen Sie dieses Konzept wie schon bei der linearen Interpolation auf den zweidimensionalen Fall aus (Sie müssen also total 16 Pixelwerte betrachten) und vervollständigen Sie die Klasse BiCubicInterpolation.

Hinweis 1: Sowohl die bilineare, wie auch die bikubische Interpolation lassen sich als Kombination von eindimesionalen linearen bzw. kubischen Interpolationen schreiben.
Hinweis 2: Bedenken Sie, dass berechnete Farbwerte unter Umständen über oder unter den erlaubten Maximal- bzw. Minimalwert fallen können.

Benötigte Dateien: image.processing.scaling.BiLinearInterpolation.java, image.processing.scaling.BiCubicInterpolation.java

Aufgabe 3 - Warp (6 Punkte)

In der Vorlesung haben Sie zwei Möglichkeiten kennen gelernt, einen Warp durchzuführen. Bei einem Backward Warp wird für jeden Pixel im Ziel-Bild bestimmt, wo der Pixel im alten Bild seinen Ursprung hat (und wenn nötig interpoliert). Dies bedingt, dass man das Inverse derjenigen Transformation, welche man eigentlich darstellen will, kennt.

Bei einem Forward Warp geht man anders vor: Man berechnet für jeden Pixel im Ursprungs-Bild, wohin er im Ziel fällt und malt diesen Pixel dann an. Hier wird keine Inverse benötigt, dafür hat es den Nachteil, dass Pixel mehrfach angemalt werden können und es nicht ganz klar ist, welche Pixel überhaupt eingefärbt werden sollen.

a) Backward Warping (2 Punkte)

Implementieren Sie einen Backward Warp in der Klasse BackwardWarp. Die Transformation ist von uns als Vektorfeld vorgegeben und in der Variable flowField abgespeichert. Dieses Vektorfeld gibt zu jedem Punkt im Zielbild seine relative Positionsverschiebung als Vektor an.

Benötigte Dateien: image.processing.warping.BackwardWarp.java

b) Forward Warping (2 Punkte)

Implementieren Sie einen Forward Warp in der Klasse ForwardWarp. Wiederum ist die Transformation als ein Vektorfeld gegeben. Berechnen Sie die Transformation jeweils für drei Pixel gleichzeitig und verwenden Sie Ihren SimpleRenderer vom letzten Übungsblatt um die transformierten Pixel als Dreiecke ins Zielbild zu zeichnen.

Benötigte Dateien: image.processing.warping.ForwardWarp.java

Morphing (2 Punkte)

Die Ausgangslage für diese Aufgabe sind zwei Bilder A und B, welche Gesichter zeigen. Ausserdem erhalten Sie zwei Korrespondenzfelder a2b und b2a. Das Feld a2b beschreibt, wie man einen Pixel im Bild A (relativ zu seiner Position) bewegen muss, um zum entsprechenden Punkt im Bild B zu kommen (analog für b2a). Dabei

handelt es sich um eine echte Korrespondenz. Wenn bspw. der Punkt $p \in A$ die Nasenspitze beschreibt, dann zeigt der zugehörige Vektor $v = \text{a2b}(p)$ wo sich die Nasenspitze im Bild B befindet.

Wie können nun beliebige Mischungsverhältnisse

$$\lambda \cdot A + (1 - \lambda) \cdot B$$

bezüglich Form und Farbwerten erreicht werden? Implementieren Sie dies in der Methode morph() der Klasse Morphing. Für Werte $\lambda < 0$ und $\lambda > 1$ erhält man Karrikaturen, die alle Merkmale verstärken, in denen sich das eine Bild vom anderen unterscheidet.

Hinweis: Die Aufgabe kann mit einem Backward oder einem Forward Warp gelöst werden.

Benötigte Dateien: image.processing.warping.Morphing.java