

LEHRSTUHL FÜR RECHNERARCHITEKTUR UND PARALLELE SYSTEME

Grundlagenpraktikum: Rechnerarchitektur

Bilineare Interpolation (A206)

Projektaufgabe – Aufgabenbereich Bildverarbeitung

1 Organisatorisches

Auf den folgenden Seiten finden Sie die Aufgabenstellung zu Ihrer Projektaufgabe für das Praktikum. Die Rahmenbedingungen für die Bearbeitung werden in der Praktikumsordnung festgesetzt, die Sie über die Praktikumshomepage¹ aufrufen können.

Wie in der Praktikumsordnung beschrieben, sind die Aufgaben relativ offen gestellt. Besprechen Sie diese innerhalb Ihrer Gruppe und konkretisieren Sie die Aufgabenstellung. Die Teile der Aufgabe, in denen C-Code anzufertigen ist, sind in C nach dem C17-Standard zu schreiben.

Der **Abgabetermin** ist **Sonntag 4. Februar 2024, 23:59 Uhr (CET)**. Die Abgabe erfolgt per Git in das für Ihre Gruppe eingerichtete Projektrepository. Bitte beachten Sie die in der README.md angegebene Liste von abzugebenden Dateien.

Die **Abschlusspräsentationen** finden in der Zeit vom **11.03.2024 – 15.03.2024** statt. Weitere Informationen werden noch bekannt gegeben. Beachten Sie, dass die Folien für die Präsentation am obigen Abgabetermin im PDF-Format abzugeben sind und keine nachträglichen Änderungen akzeptiert werden können.

Bei Fragen/Unklarheiten in Bezug auf den Ablauf und die Aufgabenstellung wenden Sie sich bitte an Ihren Tutor.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg und Freude bei der Bearbeitung Ihrer Aufgabe!

Mit freundlichen Grüßen
Die Praktikumsleitung

¹<https://gra.caps.in.tum.de>

2 Bilineare Interpolation

Im Zuge Ihrer Projektaufgabe werden Sie theoretisches Wissen aus der Mathematik im Anwendungszusammenhang verwenden, um einen Algorithmus in C zu implementieren. Sie konzentrieren sich dabei auf das Feld des *Image Processing*, in welchem Pixelbilder, wie sie typischerweise Digitalkameras produzieren, als Eingabe für bestimmte Algorithmen verwendet werden und mathematische Überlegungen dadurch sichtbar gemacht werden.

Die zu implementierenden Algorithmen werden verwendet, um ein farbiges Bild in Graustufen zu konvertieren und anschließend mittels bilinearer Interpolation zu skalieren.

2.1 Funktionsweise

Wir definieren ein Farbpixel an der Position (x, y) des Bildes P als einen Vektor mit drei Elementen für die Farbkanäle Rot (R), Grün (G) und Blau (B):

$$P_{(x,y)} = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (x, y) \in \mathbb{D} = \{0, \dots, \text{Breite} - 1\} \times \{0, \dots, \text{Höhe} - 1\}$$

Wir betrachten zunächst die Graustufenkonvertierung: Die Umwandlung eines Pixels in Graustufen geschieht durch das Berechnen eines gewichteten Durchschnitts D mittels der Koeffizienten a , b und c :

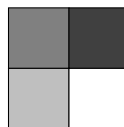
$$D = \frac{a \cdot R + b \cdot G + c \cdot B}{a + b + c} \quad (1)$$

Das Pixel in Graustufen und somit das entsprechende Graustufenbild Q ist dann gegeben durch

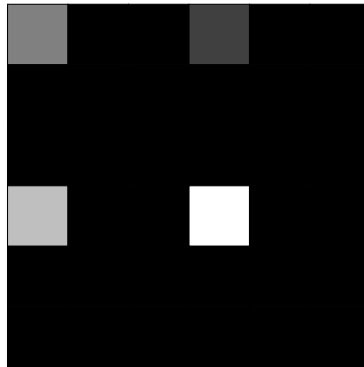
$$Q_{(x,y)} = D$$

Das Graustufenbild soll anschließend noch einer Skalierung mittels bilinearer Interpolation um einen ganzzahligen Faktor unterzogen werden. Wir illustrieren dies an einem kurzen Beispiel:

Ausgangsbild



Skaliert mit Faktor 3 Zunächst werden die vorhandenen Pixel auf ihre neuen Positionen bewegt. Die entstehenden Lücken werden durch schwarze Pixel gekennzeichnet:



Lücken gefüllt mit interpolierten Pixeln Anschließend werden die vorhandenen Pixel jeweils als vier Eckpunkte eines Koordinatensystems mit $x, y \in [0, s]$ mit Skalierungsfaktor s gedeutet. Die originalen vier Eckpixel haben dann die Koordinaten $(0, 0)$, $(0, s)$, $(s, 0)$ und (s, s) . Es gilt dann für die zu interpolierenden Lücken-Pixel:

$$Q'_{(x,y)} = \frac{1}{s^2} \begin{pmatrix} s-y \\ y \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} Q'_{(0,0)} & Q'_{(s,0)} \\ Q'_{(0,s)} & Q'_{(s,s)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s-x \\ x \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 Aufgabenstellungen

Ihre Aufgaben lassen sich in die Bereiche Konzeption (theoretisch) und Implementierung (praktisch) aufteilen. Sie können (müssen aber nicht) dies bei der Verteilung der Aufgaben innerhalb Ihrer Arbeitsgruppe ausnutzen. Antworten auf konzeptionelle Fragen sollten an den passenden Stellen in Ihrer Ausarbeitung in angemessenem Umfang erscheinen. Entscheiden Sie nach eigenem Ermessen, ob Sie im Rahmen Ihres Abschlussvortrags auch auf konzeptionelle Fragen eingehen. Die Antworten auf die Implementierungsaufgaben werden durch Ihren Code reflektiert.

2.2.1 Theoretischer Teil

- Machen Sie sich mit dem PPM² Bildformat vertraut. Sie werden 24bpp PPM (P6) Bilder als Eingabe für Ihr Programm verwenden.
- Wählen Sie ein geeignetes Netpbm³ Format (auch mit Hinblick auf Effizienz) für die Ausgabe und machen Sie sich ebenfalls mit diesem vertraut.
- Bestimmen Sie Werte für a , b und c in Gleichung 1 zunächst durch intuitives Festlegen und passen Sie sie später anhand der entstehenden Graustufenbilder

²PPM Spezifikation: <https://netpbm.sourceforge.net/doc/ppm.html>

³Netpbm Formate: <https://netpbm.sourceforge.net/doc/index.html#formats>

weiter an, sobald Sie die Aufgabe gelöst haben. Berücksichtigen Sie hierbei die Eigenschaften des Menschlichen Visuellen Systems (HVS) und ziehen Sie, wenn nötig, geeignete Sekundärliteratur hinzu.

- Machen Sie sich anhand eines einfachen Beispiels die Funktionsweise der bilinearen Interpolation klar. Berechnen Sie hierzu auf Papier die Graustufenwerte der fehlenden Pixel.
- Überlegen Sie sich eine Strategie, nach welcher Sie die Randpixel füllen wollen.
- Entwickeln Sie einen Algorithmus, welcher ein Bild erst in Graustufen konvertiert und anschließend die Skalierung auf dem Bild ausführt.
- Welche Laufzeit hat Ihr Algorithmus für ein Eingabebild mit $n \times n$ Pixeln (größenordnungsmäßig in \mathcal{O} -Notation)?

2.2.2 Praktischer Teil

- Implementieren Sie im Rahmenprogramm I/O-Operationen in C, mit welchen Sie eine PPM Datei einlesen können und Ihrer C-Funktion einen Pointer auf die sequentiellen Bilddaten sowie die relevanten Metadaten (z.B. Höhe und Breite) übergeben können. Das Rahmenprogramm soll dann eine neue Datei in dem von Ihnen gewählten Netpbm Format erstellen und die berechneten Werte nach dem Aufruf dort hineinschreiben. Das Ergebnis sollte mit üblichen Bildbetrachtern lesbar sein.
- Implementieren Sie in der Datei mit Ihrem C-Code die Funktion:

```
void interpolate(  
    const uint8_t* img, size_t width, size_t height,  
    float a, float b, float c,  
    size_t scale_factor, uint8_t* tmp,  
    uint8_t* result);
```

Die Funktion nimmt dabei einen Pointer auf die RGB Pixelwerte des Bildes sowie weitere benötigte (Meta)Daten als Parameter entgegen, und speichert das Ergebnis der Graustufenkonvertierung, sowie der Weichzeichnung in `result`. Das Array `tmp` können Sie für Zwischenergebnisse nutzen. Allokieren Sie hierzu in Ihrem Rahmenprogramm Buffer passender Größe.

2.2.3 Rahmenprogramm

Ihr Rahmenprogramm muss bei einem Aufruf die folgenden Optionen entgegennehmen und verarbeiten können. Wenn möglich soll das Programm sinnvolle Standardwerte definieren, sodass nicht immer alle Optionen gesetzt werden müssen. Wir empfehlen Ihnen, die Kommandozeilenparameter mittels `getopt_long`⁴ zu parsen.

⁴Siehe man 3 `getopt_long` für Details

- `-V<Zahl>` — Die Implementierung, die verwendet werden soll. Hierbei soll mit `-V 0` Ihre Hauptimplementierung verwendet werden. Wenn diese Option nicht gesetzt wird, soll ebenfalls die Hauptimplementierung ausgeführt werden.
- `-B<Zahl>` — Falls gesetzt, wird die Laufzeit der angegebenen Implementierung gemessen und ausgegeben. Das *optionale* Argument dieser Option gibt die Anzahl an Wiederholungen des Funktionsaufrufs an.
- `<Dateiname>` — Positional Argument: Eingabedatei
- `-o<Dateiname>` — Ausgabedatei
- `--coeffs<FP Zahl>, <FP Zahl>, <FP Zahl>` — Die Koeffizienten der Graustufenkonvertierung a , b und c . Falls diese Option nicht gesetzt wird, sollen die von Ihnen bestimmten Werte verwendet werden.
- `-f<Zahl>` — Skalierungsfaktor
- `-h|--help` — Eine Beschreibung aller Optionen des Programms und Verwendungsbeispiele werden ausgegeben und das Programm danach beendet.

Sie dürfen weitere Optionen implementieren, beispielsweise um vordefinierte Testfälle zu verwenden. Ihr Programm muss jedoch nur unter Verwendung der oben genannten Optionen verwendbar sein. Beachten Sie ebenfalls, dass Ihr Rahmenprogramm etwaige Randfälle korrekt abfangen muss und im Falle eines Fehlers mit einer aussagekräftigen Fehlermeldung auf `stderr` und einer kurzen Erläuterung zur Benutzung terminieren sollte.

2.3 Allgemeine Bewertungshinweise

Beachten Sie grundsätzlich alle in der Praktikumsordnung angegebenen Hinweise. Die folgende Liste konkretisiert einige der Bewertungspunkte:

- Stellen Sie unbedingt sicher, dass *sowohl* Ihre Implementierung *als auch* Ihre Ausarbeitung auf der Referenzplattform des Praktikums (1xhalle) kompilieren und vollständig korrekt bzw. funktionsfähig sind.
 - Die Implementierung soll mit GCC/GNU as kompilieren. Verwenden Sie keinen Inline-Assembler. Achten Sie darauf, dass Ihr Programm keine x87-FPU- oder MMX-Instruktionen und SSE-Erweiterungen nur bis SSE4.2 verwendet. Andere ISA-Erweiterungen (z.B. AVX, BMI1) dürfen Sie nur benutzen, sofern Ihre Implementierung auch auf Prozessoren ohne derartige Erweiterungen lauffähig ist.
 - Sie dürfen die angegebenen Funktionssignaturen ändern, müssen dies aber (in der Ausarbeitung) nachvollziehbar begründen.
-

- Verwenden Sie die angegebenen Funktionsnamen für Ihre Hauptimplementierung. Falls Sie mehrere Implementierungen schreiben, legen wir Ihnen nahe, für die Benennung der alternativen Implementierungen mit dem Suffix „_V1“, „_V2“ etc. zu arbeiten.
 - Denken Sie daran, das Laufzeitverhalten Ihres Codes zu testen (Sichere Programmierung, Performanz) und behandeln Sie *alle möglichen Eingaben*, auch Randfälle. Ziehen Sie ggf. alternative Implementierungen als Vergleich heran.
 - Eingabedateien, welche Sie generieren, um Ihre Implementierungen zu testen, sollten mit abgegeben werden; größere Eingaben sollten stattdessen stark komprimiert oder (bevorzugt) über ein abgegebenes Skript generierbar sein.
 - Stellen Sie Performanz-Ergebnisse nach Möglichkeit grafisch dar.
 - Vermeiden Sie unscharfe Grafiken und Screenshots von Code.
 - Geben Sie die Folien für Ihre Abschlusspräsentation im PDF-Format ab. Achten Sie auf hinreichenden Kontrast (schwarzer Text auf weißem Grund!) und eine angemessene Schriftgröße. Verwenden Sie 16:9 als Folien-Format.
-