



Diplomarbeit
Intelligent Puzzle Solver

M. Bhend, R. Frey, O. Jaun
22. Dezember 2006

Vorwort

Dieses Dokument beschreibt unsere Diplomarbeit, die wir im Rahmen unseres Studiums an der Hochschule für Technik und Informatik Bern im Jahr 2006 durchgeführt haben.

Die Fächer Bildverarbeitung und Bildanalyse im letzten Jahr unseres Studiums haben unser Interesse geweckt und uns schliesslich dazu veranlasst, die Diplomarbeit in diesem Bereich durchzuführen. Die konkrete Idee entstand bei einem gemütlichen Fondueessen. Wir hielten das Projekt aufgrund seiner Vielseitigkeit für sehr interessant. Zudem ist es ergiebig genug, Arbeit für drei Personen zu bieten.

Betreut wurde die Arbeit von Prof. Dr. Erich Badertscher und Prof. Dr. Peter Schwab. Herr Badertscher und Herr Schwab unterstützten uns bei allen Problemen und nahmen an den regelmässigen Diplomarbeiten-Sitzungen teil. Als Experte hat sich Herr Dr. Federico Flueckiger zur Verfügung gestellt. Er wurde von uns über den Verlauf informiert und besuchte uns auch in Bern, um einen Einblick in unsere Arbeit zu erhalten.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
1 Einleitung	1
1.1 Zusammenfassung	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Vorarbeiten	2
1.4 Das Puzzle	3
1.4.1 Geschichte	3
1.4.2 Berücksichtigte Puzzleart	3
1.5 Vorgehensanalyse	4
1.6 Verwandte Arbeiten	4
2 Algorithmen	5
2.1 Vorbereitung	5
2.2 Weissabgleich	6
2.3 Randextraktion	7
2.4 Puzzleteileextraktion	8
2.5 Bildentzerrung	8
2.6 Randkorrektur	10
2.7 Farbextraktion	11
2.8 Puzzleeigenschaften	11
2.8.1 Ecken	12
2.8.2 Scheitelpunkte	14
2.8.3 Fläche	15
2.8.4 Weitere Eigenschaften	16
2.9 Puzzle lösen	16
2.9.1 Allgemeines Vorgehen	16
2.9.2 Stein suchen	17
2.10 Puzzlesteine zusammensetzen	22
2.10.1 Vorarbeiten	22
2.10.2 Anordnung	23
3 Implementation	25
3.1 Generell	25
3.2 Prototyp	25

Inhaltsverzeichnis

3.3	Java Advanced Imaging	25
3.4	Klassen	27
3.5	Programmablauf	28
3.6	Algorithmen	28
3.6.1	Die ImagingToolbox	28
3.6.2	Die Klasse Utils	30
3.6.3	Das Puzzle	30
3.7	GUI	30
3.7.1	Generell	31
3.7.2	Das Hauptfenster	31
3.7.3	Die Parametereingabe	31
3.7.4	Zeichnen von Punkten	32
3.7.5	Die Anzeigekomponente für Bilder	33
3.7.6	Die Anzeigekomponente(n) für das Puzzle	33
4	Bedienungsanleitung	35
4.1	CD zur Diplomarbeit	35
4.2	Starten der Applikation	36
4.3	Einstellen der Parameter	36
4.4	Starten des Zusammensetzvorganges	40
4.5	Programm beenden	41
5	Testresultate	43
5.1	Bob the builder	43
5.1.1	Variante 1	43
5.1.2	Variante 2	44
5.1.3	Variante 3	44
5.2	Schildkröte	44
6	Schlusswort und Diskussion	46
6.1	Ergebnisse	46
6.2	Verbesserungsmöglichkeiten	47
6.3	Schlusswort	48
A	Anhang	49
A.1	Entzerrung	49
A.2	Randproblem	51
A.2.1	Berechnung des evaluierten Randes	51
A.2.2	Entscheidung welcher Rand	54
	Referenzen	55

1 Einleitung

1.1 Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung für die vorliegende Diplomarbeit lag darin, ein Programm zu entwickeln, das mit Hilfe von Algorithmen der Bildverarbeitung und Bildanalyse ein Puzzle aufgrund fotografiertes Puzzlesteine virtuell zusammensetzen kann. Dieses Ziel konnte vollständig erreicht werden.

Zur Realisierung dieses Projekts braucht es eine Digitalkamera, einen Tisch, ein Stativ, eine Beleuchtungseinrichtung, die den Bildbereich genügend ausleuchtet und einen PC auf dem das entwickelte Computerprogramm ausgeführt werden kann. Die Digitalkamera sollte vorzugsweise so ausgestattet sein, dass die fototechnischen Einstellungen (z.B. die Belichtungszeit) manuell eingestellt werden können.

Damit das Programm in der Lage ist, zufällig hingelegte Puzzlesteine am Computerbildschirm virtuell zum fertigen Puzzlebild zusammenzufügen, braucht es zwei Fotografien. Mit der ersten Fotografie wird ein weisses Referenzrechteck mit bekannten Massen und schwarzer Umrandung fotografiert. Auf der zweiten Fotografie werden die zufällig hingeleigten Puzzlesteine aus der gleichen Kameraposition und mit den gleichen fototechnischen Einstellungen abgebildet. Die Fotografie ohne Puzzlesteine wird für den Weissabgleich benötigt um ein möglichst farbechtes Bild zu erhalten. Das Referenzrechteck wird benötigt, damit Aufnahmefehler (z.B. Verzerrung aufgrund des Aufnahmewinkels) erkannt und korrigiert werden können.

Das Programm entzerzt die Fotografie, erkennt die einzelnen Puzzlesteine, korrigiert den Rand, erfasst die Form sowie die Farben der Puzzlesteine und berechnet entsprechende Kennwerte. Ein speziell entwickelter Algorithmus sucht nach einer bestimmten Strategie die richtigen Puzzlesteine heraus. Begonnen wird am Rand des Bildes mit einer Ecke, dann wird der Rand des Bildes erstellt bis schliesslich mit einer spiralförmigen Vorgehensweise das Bild mit dem letzten Stein in der Mitte des Bildes das Zusammensetzen beendet. Der Zusammensetzvorgang wird am Bildschirm mittels Animation gezeigt.

Das Programm befindet sich auf der beigelegten CD. Die Berechnung der Korrekturen, die Kenngrößen, das Suchen sowie das Zusammensetzen der Puzzlesteine sind in den nachstehenden Kapiteln erklärt.

Die Applikation wurde vollständig in Java entwickelt und verwendet die Java Advanced Imaging (JAI) Library.

1.2 Problemstellung

Hier die offizielle Problemstellung, die von den Betreuern verfasst wurde:

Beim Zusammensetzen eines Puzzles hat ein Computer gegenüber einem menschlichen Löser sowohl Vorteile als auch Nachteile. Der Computer kann Formen und Farben feiner korrelieren als der Mensch und er kann pro Zeiteinheit viel mehr Versuche unternehmen, zwei Teilchen zusammenzusetzen. Andererseits kann der Computer das Puzzle nicht inhaltlich interpretieren, er muss die Teile einzeln aus einem Digitalbild extrahieren, muss dabei mit verrauschten Rändern rechnen und die ungleichmässige Beleuchtung der Teilchen beachten.

Ein Puzzlespiel, dessen Teile auf einer ebenen Unterlage ausgebreitet sind und aus schiefer Richtung mit einer Digitalkamera aufgenommen werden, soll entzerrt und möglichst farbecht zusammengesetzt werden. Als Erstes sollen die Teile extrahiert und farbkorrigiert werden. Anschliessend sollen die Ränder der Teilchen formentzerrt, in die vier Seiten zerlegt und mit Farben belegt werden. Diese Teilchenseiten sollen anschliessend form- und farbkorrigiert werden - wobei im Sinne von "intelligentem menschlichen Vorgehens" zuerst grobe Form- und Farbmerkmale berücksichtigt werden sollen.

Aufbauend auf der Projektarbeit soll eine Applikation erstellt werden, welche in der Lage ist, einfachere Puzzles entzerrt und möglichst form- und farbecht zusammzusetzen. Dabei soll bei der Extraktion und Entzerrung die Dicke der Teilchen berücksichtigt werden.

1.3 Vorarbeiten

In einer Projektarbeit im Fach Bildanalyse bei Herrn Dr. Badertscher haben wir uns in der gleichen Gruppenzusammenstellung bereits mit verschiedenen Aspekten des Puzzlezusammensetzens auseinandergesetzt. Dabei haben wir gewisse Lösungsansätze für verschiedene Teilprobleme erarbeitet und diese teilweise auch in Matlab¹ implementiert. Dabei ging es besonders um die Puzzleteileextraktion, die Entzerrung und um die Analyse der Brauchbarkeit von verschiedenen Kennwerten. Sämtliche Algorithmen wurden im Rahmen der Projektarbeit jedoch nochmals überarbeitet, verbessert oder neu entwickelt. Zudem haben wir uns erst in dieser Arbeit mit dem effektiven Zusammensetzen des Puzzles beschäftigt.

¹Mathematikprogramm von Matworks Inc., welches sich zur Lösung numerischer Probleme eignet und über ein Erweiterungspaket zur Bildverarbeitung verfügt.

1.4 Das Puzzle

1.4.1 Geschichte

Der folgende Text wurde aus Wikipedia [Com06] übernommen und gibt einen kurzen geschichtlichen Abriss zum Thema Puzzle.

Das Puzzle ist ein sehr altes Spiel. Es wurde bereits 1763 in England von einem Kupferstecher namens John Spilsbury erfunden. Dazu klebte er Landkarten auf Holzbrettchen und zersägte diese. Die einzelnen Teile stellten jeweils ein Land dar, und der Spieler musste versuchen, die Karte wieder zu vervollständigen. So verkaufte er sein Legespiel als "Lehrmittel zur Erleichterung des Erdkundeunterrichts". Dabei waren die Teile noch nicht verzahnt, wie wir es heute kennen. Diese sogenannten *Interlocking*-Puzzle entstanden erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Anfang des 20. Jahrhunderts begann die Massenproduktion der bisher in Handarbeit hergestellten Puzzles. Dadurch konnten die einst teuren Spiele preiswerter angeboten werden und so weiter ihre Popularität steigern. Bis zum heutigen Zeitpunkt hat sich am Prinzip der Herstellung kaum etwas geändert. Ein auf Pappe gedrucktes Motiv wird mit einer Stanze in viele kleine Teile zerlegt. Die handgefertigten Stanzen sind so individuell, dass die Puzzleteile sehr unterschiedlich aussehen. Bei Riesenpuzzles müssen teilweise mehrere Stanzen genutzt werden. Die wichtigsten Fortschritte bei der Herstellung erzielten die Produzenten bei der Präzision des Schnittes der Teile. Dies ist auch eines der entscheidenden Qualitätsmerkmale eines Puzzles, neben dem Druck und der Stabilität der Farben. Je genauer die Teile gestanzt werden, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, Teile falsch zu verbinden.

1.4.2 Berücksichtigte Puzzleart

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Puzzlearten, wie z.B. 3D-Puzzle, Würfel-Puzzle, Shmuzzle oder eben der oben erwähnte Klassiker, das Interlocking-Puzzle, in allen möglichen Grössen von 5–10'000 Teilen. Wir haben uns auf Interlocking-Puzzles mit +/-50 Teilen beschränkt. Dabei setzen wir voraus, dass die einzelnen Teile standardmässig gestanzt wurden. Das heisst, dass die Teile immer vier Seiten mit maximal einer Aus- bzw. Einbuchtung haben und die Ecken klar erkennbar sind (nicht abgerundet). Handelsübliche Produkte wie z.B. diese von Ravensburger erfüllen die Kriterien.

1.5 Vorgehensanalyse

Bevor mit der Implementation gestartet wurde, haben wir unser eigenes Vorgehen analysiert, also wie wir manuell ein Puzzle zusammensetzen. Meist beginnt man damit, Randteile und Farben auszusortieren. Dann wird unter Berücksichtigung des Bildes auf der Verpackung versucht, den Rand zusammenzusetzen. Ausgehend vom Rand werden primär mittels der Farben weitere Teile gesucht. Schliesslich werden die übriggebliebenen Lücken gefüllt.

Die Aufgabenstellung und auch die Einschränkungen eines Computers erlauben es nicht, dieses Vorgehen 1:1 auf die Software zu übertragen. Zum einen ist es nicht erlaubt, das Bild auf der Verpackung zu verwenden. Zum anderen hat der Mensch eine fortschrittliche "Bilderkennung", die ihm hilft, z.B. anhand eines Wolkenfragments, Himmel und Wasser voneinander zu unterscheiden. Eine solche Fähigkeit in einem Computerprogramm zu implementieren, hätte den Rahmen der Diplomarbeit gesprengt.

Diesen Nachteil kann der Computer teilweise durch seine Geschwindigkeit wieder wettmachen. Besonders im Bezug auf den Vergleich der Puzzleform ist er dem Menschen überlegen, da der Computer in kurzer Zeit viele Puzzlesteinformen miteinander vergleichen kann.

1.6 Verwandte Arbeiten

Uns ist keine Arbeit dieser Art bekannt. Eine Arbeit, welche sich auch mit dem Zusammensetzen eines Puzzles beschäftigt, ist der Puzzle Robot [LR04]. Hier lag jedoch der Schwerpunkt nicht auf der Bildverarbeitung, sondern auf dem physikalischen Zusammensetzen mit Hilfe eines Roboters.