

Bildinterpolation in virtuellen 3-D-Szenen

Seminararbeit

vorgelegt am
Lehrstuhl für Praktische Informatik IV
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Effelsberg
UNIVERSITÄT MANNHEIM

von
Dipl. Wirtsch.-Inf. Lars Groenhagen
aus Rendsburg

April 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Grundbegriffe	1
2	Algorithmen zur Bildinterpolation für virtuelle 3-D-Szenen	2
2.1	Synthetische Drehung	3
2.2	Digitaler Zoom	4
2.3	Bildinterpolation mittels Morphing	5
2.4	Dreieckbasierte Bildinterpolation ohne Entfernungsinformation	8
3	Weiterführende Arbeiten	13

Abbildungsverzeichnis

2.1	Zwischenbilder durch Umblenden	3
2.2	Zwischenbilder durch Projektion	4
2.3	Zoom	5
2.4	Epipolargeometrie	9
2.5	Ableitung der Zeichenreihenfolge für Bildpunkte auf der Epipolarlinie	10
2.6	Zeichenmuster in Abhängigkeit vom Epipol und Zeichenreihenfolge nach MCMILLAN	10
2.7	Epipolarband	11
2.8	Zeichenreihenfolge für benachbarte Dreiecke	12

Abkürzungsverzeichnis

2-D zweidimensional, auch 2D.

3-D dreidimensional, auch 3D.

IBR Image-Based-Rendering.

WWW World Wide Web.

1 Einleitung und Grundbegriffe

Die Berechnung und Darstellung von 3-D-Szenen mit Hilfe von Computern kommt heutzutage bereits in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz. Beispielsweise in Ausbildungssimulatoren, in Computerspielen oder im Rahmen der Sportberichterstattung im Fernsehen und im World Wide Web (WWW).¹ Es ist jedoch nicht immer möglich oder sinnvoll, eine 3-D-Szene auf Basis von 3-D-Daten zu berechnen. In dieser Arbeit werden Algorithmen vorgestellt, die 3-D-Szenen auf Basis von 2-D-Daten berechnen. Der Fokus liegt dabei auf der Nutzung von (digitalen) Fotografien, also **2-D-Bildern**. Eine 3-D-Szene, die auf Basis von 2-D-Daten berechnet und dargestellt wird, wird im Folgenden als **virtuelle 3-D-Szene** bezeichnet. Die **2-D-Daten**, die zur Berechnung von virtuellen 3-D-Szenen genutzt werden, sind eine Menge von 2-D-Bildern, deren Ordnung bekannt ist. Die **Ordnung** ergibt sich aus der relativen Position der 2-D-Bilder innerhalb einer 3-D-Szene zueinander. Im Falle von Fotografien kann die Ordnung aus der Kameraposition, der Aufnahmerichtung und dem Aufnahmewinkel abgeleitet werden. Der Aufnahmewinkel ergibt sich wiederum aus der Brennweite des Objektivs in Kombination mit dem verwendeten Kamertyp. Da bei der Berechnung nicht ausschließlich die Bilddaten, X -, Y -Koordinate und Farbwert der Bildpunkte, sondern auch weitere Daten genutzt werden, ohne dabei 3-D-Objekte zu modellieren, wird teilweise auch von $2\frac{1}{2}$ -D-Daten gesprochen.²

Die Berechnung der Darstellung von virtuellen 3-D-Szenen aus 2-D-Bildern wird als **Image-Based-Rendering (IBR)** bezeichnet. Unter **Bildinterpolation** wird hier die Berechnung eines Zielbildes aus einem oder mehreren Quellbildern mit Hilfe einer mathematischen Näherungsfunktion (Interpolationsfunktion) verstanden.

¹vgl. [Tom05], [DSK00], [BMI06] S.21, [Ser06], [BBC06], [Med06] und [Geh06]

²vgl. [PB92] S.1

2 Algorithmen zur Bildinterpolation für virtuelle 3-D-Szenen

Die Grundidee, virtuelle 3-D-Szenen auf Basis von Fotografien, auch unter Nutzung von Bildinterpolation, zu erstellen, wird bereits seit geraumer Zeit diskutiert. So berichtet LIPPMAN im Jahr 1980 in einem Artikel über das Projekt Movie-Maps³, das als wegweisend in diesem Bereich gilt.⁴ In dem Projekt wurden von vier 35mm Fotokameras, die in 90 Grad Schritten auf einem Auto montiert waren, Straßenzüge der Stadt Aspen im US Bundesstaat Colorado aufgenommen. Dabei wurde alle 10 Fuß (3,048 Meter) eine Aufnahme mit allen vier Kameras gemacht. Die Fotos wurden einer Position auf einer Straßenkarte der Stadt zugeordnet und die Bilder einer Durchfahrt einer Straße in Sequenz auf optischen Videodiscs⁵ abgespeichert.

In dem Projekt wurde weiterhin eine Anwendung erstellt, die es einem Benutzer ermöglichen sollte, eine simulierte Fahrt durch die Stadt Aspen am Bildschirm durchführen zu können. Die Fahrt entlang eines Straßenzugs wurde dabei durch Abspielen der zuvor aufgenommenen Bilder von einer Videodisc visualisiert. Die Abspielgeschwindigkeit der Bilder simulierte dabei unterschiedliche Geschwindigkeiten der Fahrt. Eine zweite Videodisc, in einem weiteren Abspielgerät, enthielt die Bildsequenzen der vom aktuellen Straßenzug abzweigenden Straßen. Eine Videodisc ermöglicht den wahlfreien Zugriff (random access) auf ihre Daten. Damit wurde es möglich, die zweite Abspieleinheit immer auf die Bildsequenz der in Fahrtrichtung nächstfolgenden Kreuzung oder Abzweigung zu positionieren. Entschied sich der Nutzer abzubiegen,

³vgl. [Lip80]

⁴vgl. [SSS06] S.836

⁵vgl. [Lau80] S.8ff. und [Koh77]

wurde die Sequenz des ersten Abspielgerätes gestoppt und die entsprechende Sequenz des zweiten Abspielgerätes gestartet.

In dieser einfachen Version der Movie-Map wurde dem Benutzer der Fahrindruck lediglich durch Auswahl passender Aufnahmen vermittelt. Eine Bearbeitung der angezeigten Bilder findet nicht statt. Lippman beschreibt ihn, bedingt durch die niedrige Bildrate, als holprig und schlägt an zwei Stellen Verbesserungen durch Bildinterpolation vor. Der abrupte Wechsel der Perspektive um 90 Grad beim Abbiegen führt häufig zu einer Desorientierung des Nutzers. Hier sieht Lippman die Möglichkeit zur Verbesserung der Anwendung, indem das Abbiegen weicher gestaltet wird. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit sieht er in der Berechnung von Zwischenbildern für die Darstellung der Geradeausfahrt, um die Bildrate zu erhöhen.

In diesem Kapitel werden zunächst die beiden Ansätze zur Bildinterpolation von LIPPMAN beschrieben. Es folgen zwei neuere Verfahren, die seine Ideen weiterentwickeln und die den verbesserten Möglichkeiten zur Grafikkberechnung mit Computern Rechnung tragen.

2.1 Synthetische Drehung

Die einfachste Variante, die Darstellung des Abbiegevorgangs mit Zwischenbildern zu verbessern, bestand in einem Umblenden zwischen dem letzten Bild in der alten Fahrtrichtung (Bild A) und dem ersten Bild der neuen Fahrtrichtung (Bild B) mittels seitlicher Bildverschiebung. Abbildung 2.1 stellt das Verfahren für einen Abbiegevorgang nach rechts schematisch dar. Der jeweils sichtbare Bildausschnitt (*I - IV*) besteht



Abbildung 2.1: Zwischenbilder durch Umblenden

bei den Zwischenbildern *II* und *III* aus Teilen der Originalbilder *A* und *B*. Der Vorteil dieser Methode bestand darin, dass sie mit zu der Zeit verfügbarer Videoelektronik in Echtzeit durchgeführt werden konnte. Der Nachteil bestand darin, dass Bildobjekte gleichzeitig mehrfach im Bild aus unterschiedlichen Perspektiven sichtbar waren.

Durch die Richtung des Verschiebevorgangs konnte dem Nutzer der Abbiegevorgang besser vermittelt und die genannte Desorientierung weitgehend vermieden werden. Auf diese Art erzeugte Zwischenbilder weisen jedoch erhebliche Abweichungen von der realen Szene auf.

Bessere Zwischenbilder für den Abbiegevorgang konnten im Projekt Movie-Maps erzeugt werden, indem die Originalbilder *A* und *B* auf 90 Grad versetzte Flächen projiziert wurden. Abbildung 2.2 zeigt das Vorgehen in einer Draufsicht. Die projizierten

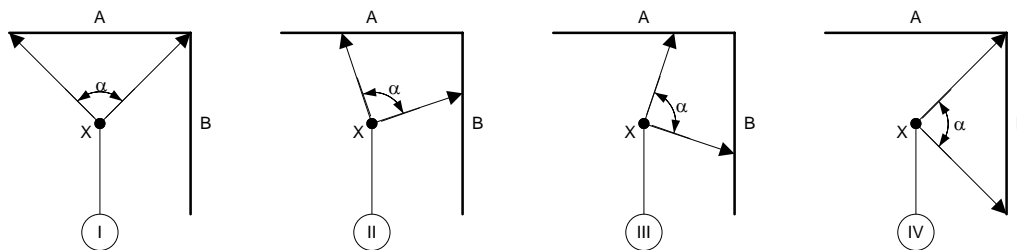


Abbildung 2.2: Zwischenbilder durch Projektion

Bilder stehen dabei im gleichen Verhältnis zueinander, wie in der realen Szene. Eine Kamera wird so positioniert, dass sie mit der Position der Kamera in der realen Szene übereinstimmt. Auch der Abbildungswinkel α der Kamera muss mit dem der für die Originalaufnahmen verwendeten Kamera identisch sein. Durch Drehung der Kamera um die vertikale Achse an der Eintrittspupille des Objektivs (*X*) in bestimmten Schrittwerten, können nun Zwischenbilder (*II* und *III*) erzeugt werden, die der Perspektive in der realen Szene entsprechen. LIPPMAN bezeichnet die so gewonnenen Bildsequenzen für Abbiegevorgänge als **synthetische Drehung** (“synthesized twirl”⁶).

2.2 Digitaler Zoom

Eine weitere Methode der Bildinterpolation aus dem Movie-Maps Projekt dient der Generierung von Zwischenbildern bei Geradeausfahrt. Da nur etwa alle drei Meter ein Bild aufgenommen wurde, erscheint die Fahrt in der Movie-Maps Anwendung, wie bereits erwähnt, holprig bzw. ruckartig. Die Methode macht sich die Tatsache zu nutze, dass bei Geradeausfahrt ein Nachfolgebild *B* einen Teilausschnitt *B'* seines Vorgängerbildes *A* abbildet (siehe Abbildung 2.3). Es entspricht also einer Aufnahme aus der

⁶[Lip80] S.41

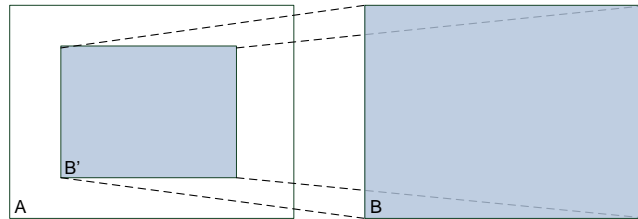


Abbildung 2.3: Zoom

gleichen Aufnahmeposition, die für Bild *A* genutzt wurde, mit einem geringeren Aufnahmewinkel. Dies entspricht einer Aufnahme mit einem Objektiv längerer Brennweite. Ein Objektiv mit stufenlos veränderlicher Brennweite wird Zoomobjektiv genannt. Der Vorgang mit einem solchen Objektiv einen größeren oder kleineren Bildausschnitt zu wählen, wird dementsprechend als zoomen bezeichnet. Zwischenbilder zwischen *A* und *B* lassen sich erzeugen, indem zentrierte, im Seitenverhältnis *A* und *B* entsprechende Teilausschnitte von *A* erzeugt werden, die kleiner als *A* aber größer als *B* sind. Die Teilausschnitte werden dann auf die gleiche Bildgröße wie die Bilder *A* und *B* vergrößert. Es müssen zusätzliche Bildpunkte interpoliert werden. Hierzu existieren eine Reihe von Standardfiltern, die oft in Bildbearbeitungsprogrammen zum Einsatz kommen, aber auch fortgeschrittenere Algorithmen.⁷ Die soeben beschriebene Methode wird heute bereits in einer Vielzahl von Digitalkameras implementiert. Sie wird, in Anlehnung an die Zoomfunktion von Objektiven, **digitaler Zoom** genannt.

2.3 Bildinterpolation mittels Morphing

Ein Algorithmus, der unabhängig von der Art der Kamerabewegung, die bei der Aufnahme der Originalbilder durchgeführt wurde, Zwischenbilder erzeugen kann, wurde 1993 von CHEN UND WILLIAMS vorgeschlagen.⁸ Er setzt allerdings voraus, dass sowohl die relativen Kamerapositionen, die bei der Erzeugung der Originalbilder verwendet wurden, als auch die Entfernung, also *Z*-Werte, der Pixel in den Bildern bekannt sind. Er setzt weiter voraus, dass der Unterschied zwischen den verschiedenen Kamerapositionen relativ klein ist. Die Methode basiert auf einem Verfahren, das **Morphing** genannt wird. Unter Morphing versteht man die gleichzeitige Interpolation

⁷vgl. [Tur90], [Fat07] und [JPY06]

⁸vgl. [CW93]

von Form und Farbe. Es wird durch gleichzeitiges Verzerren (warp) und Überblenden (cross-dissolve) erreicht.⁹ Die Grundform des Algorithmus für die Erzeugung eines Zwischenbildes I für zwei Originalbilder A und B arbeitet wie folgt:

1. Für jeden Bildpunkt wird ein räumlicher Verschiebungsvektor errechnet, der die Verschiebung des Pixels von A nach B beschreibt. So wird jedem Pixel in A genau eine Position in B zugeordnet. Der Vektor wird aus den X -, Y - und Z -Koordinaten des Bildpunktes und der relativen Kameraposition der Bilder A und B berechnet. Das Ergebnis ist zunächst eine 4×4 -Matrix, die dann in den Verschiebungsvektor überführt wird. Die Vektoren werden anschließend in einer sogenannten Morph-Map gespeichert. Die Pixel des Quellbildes werden nun in eine Liste eingefügt. Der Schritt wird anschließend mit B als Quellbild und A als Zielbild wiederholt.
2. Die in Schritt eins erzeugte Liste wird nach der Entfernung der Pixel, also ihrem Z -Wert, sortiert. Weiter entfernte Pixel stehen weiter vorne in der Liste. Die Schritte eins und zwei können unabhängig vom gewünschten Zwischenbild vorberechnet werden, da sie nicht von der Kameraposition des zu interpolierenden Bildes abhängen.
3. Mit dem dritten Schritt beginnt der eigentliche Morphing-Vorgang. Zunächst wird ein Bild I erstellt. Alle Pixel dieses Bildes werden mit einem Farbwert initialisiert, der nicht in A und B vorkommt und von den dort verwendeten Farben möglichst stark abweicht. Diese Farbe wird als Hintergrundfarbe bezeichnet.
4. Nun wird für jeden Eintrag, also jedes Pixel in der Liste, die in Schritt eins und zwei erzeugt wurde, seine neue Position in I aus dem Verschiebungsvektor und Interaktionsparametern berechnet und das Pixel an die entsprechende Position von I geschrieben.
5. Der letzte Schritt besteht darin, alle Pixel, die noch in Hintergrundfarbe sind, durch Farbwerte ihrer Nachbarpixel, die nicht in Hintergrundfarbe sind, zu interpolieren.

Bei der Zuordnung der Quellpixel aus A zu Zielpixeln in B kann es vorkommen, dass mehrere Pixel aus A demselben Pixel in B zugeordnet werden. Dies ist beispielsweise

⁹vgl. [BN92] S.36

dann der Fall, wenn ein Bildbereich aus A durch Verkleinerung der Brennweite oder entsprechend eine größere Kameraentfernung bei der Aufnahme von B , in B stärker komprimiert abgebildet wird. Dementsprechend gibt es auch Bildpunkte in B , denen kein Bildpunkt aus A zugeordnet wurde. Die Aussagen gelten entsprechend für eine Abbildung von A nach I . Der erste Fall führt zu der Fragestellung, welches der sich überdeckenden Pixel für ein Zwischenbild verwendet werden soll (Sichtbarkeitsproblem). Der obige Algorithmus löst das Problem durch die Entfernungsinformation, den Z -Wert, der Pixel. Es werden alle Pixel in das Zwischenbild projiziert. Durch die Reihenfolge, der in Schritt zwei erzeugten Liste, wird das am nächsten liegende Pixel allerdings als letztes abgebildet und bleibt damit sichtbar. Solche Methoden, die Entfernungsinformationen zur Erstellung einer Zeichenreihenfolge verwenden, werden als Depth-Buffering, Z -Buffering oder Tiefenspeicher-Verfahren¹⁰ bezeichnet. Im zweiten Fall stellt sich die Frage, wie die Pixel, die nicht Zielpositionen eines Pixels aus A sind, sogenannte Löcher, identifiziert werden können. Pixel, die nach Schritt vier in Hintergrundfarbe verbleiben, sind offensichtliche Löcher, die anschließend durch Interpolation der Farbwerte von Nachbarpixeln geschlossen werden. Der Algorithmus kann jedoch nicht alle Löcher korrekt erkennen. Es kann vorkommen, dass der Hintergrundfarbwert durch ein weit entferntes Pixel geändert wurde. Für ein näher liegendes Pixel, das letzteres überdecken müsste, kann an dieser Stelle jedoch ein Loch vorliegen, das nun nicht mehr durch die Hintergrundfarbe feststellbar ist.

CHEN UND WILLIAMS sehen vor, dass der Algorithmus auch für die Berechnung eines Zwischenbildes aus mehr als zwei Ursprungsbildern angewendet werden kann. Hierzu werden alle Ursprungsbilder in einem Graphen gespeichert. Die Bilder entsprechen den Knoten im Graphen, die Beziehung der Bilder zueinander den Kanten. Für eine Anzahl von Bildern, also eine Menge von Knoten, wird Schritt eins für jede Kante ausgeführt, die die Knoten der Knotenmenge miteinander verbindet. Die Autoren stellen fest, dass die Verwendung von mehr als zwei Bildern die Menge von Löchern verringern kann. Sie schlagen außerdem eine Verbesserung ihres Algorithmus vor, die darin besteht, die Morph-Map zu verkleinern, indem quadratische Bereiche des Bildes, deren Größe von der Bewegung und den Entfernungswerten ihrer Pixel abhängt, gebildet werden. Jedem dieser Bereiche wird ein Verschiebungsvektor zugeordnet. Die Zahl der Verschiebungsvektoren wird so verringert.

¹⁰vgl. [BB06] S.67

Problematisch im Hinblick auf die Verwendung von Fotografien als Originalbilder ist die Voraussetzung des Algorithmus, dass zu jedem Pixel Entfernungswerte zur Verfügung stehen müssen. Im folgenden Abschnitt wird eine Methode beschrieben, die eine Bildinterpolation ohne Entfernungsinformationen ermöglicht. Ähnlich, wie bei der soeben beschriebenen Zusammenfassung von Bildbereichen zu Quadraten, werden in diesem Algorithmus Dreiecke zur Zusammenfassung von Pixeln und zur Reduktion von Rechenoperationen genutzt.

2.4 Dreieckbasierte Bildinterpolation ohne Entfernungsinformation

Eine Methode, das Sichtbarkeitsproblem ohne Z -Werte zu lösen, wurde von MCMILLAN vorgestellt.¹¹ Diese Methode funktioniert nur für einzelne Pixel, nicht für eine Menge von Pixeln. FU, WONG UND HENG haben das Prinzip von MCMILLANS Methode anschaulich dargestellt und schlagen ihrerseits eine Vorgehensweise vor, die es ermöglicht unter bestimmten Voraussetzungen auch die Sichtbarkeit von dreieckigen Bildbereichen aufzulösen.¹² In diesem Abschnitt wird ein Überblick über den Artikel von FU, WONG UND HENG gegeben.

Der Artikel basiert auf Erkenntnissen, die sich aus den geometrischen Beziehungen zwischen zwei Kamerabildern aus unterschiedlichen Kamerapositionen ergeben. Die mathematische Beschreibung solcher Beziehungen wird auch als Epipolargeometrie bezeichnet.¹³ Abbildung 2.4 zeigt die geometrischen Beziehungen zwischen zwei Kamerabildern I_c und I_e , die von den Punkten \hat{c} und \hat{e} aus aufgenommen werden. Dabei könnte I_e ein Bild sein, das aus I_c und gegebenenfalls weiteren Bildern berechnet werden soll.

Ein Bildpunkt i_1 in I_c bildet einen Punkt der realen Szene ab, der auf dem Strahl \vec{L}_1 , definiert durch den Ausgangspunkt \hat{c} und den Punkt i_1 , liegt. Dies könnte beispielsweise der Punkt \hat{p}_1 sein. Am Schnittpunkt von I_e mit einem Strahl von \hat{p}_1 nach \hat{e} liegt die Abbildung von \hat{p}_1 im Bild I_e . Analoges gilt für die Punkte i_2 und \hat{p}_2 und den Strahl \vec{L}_2 .

¹¹vgl. [McM95]

¹²vgl. [FWH98]

¹³vgl. [Sch05] S. 65ff.

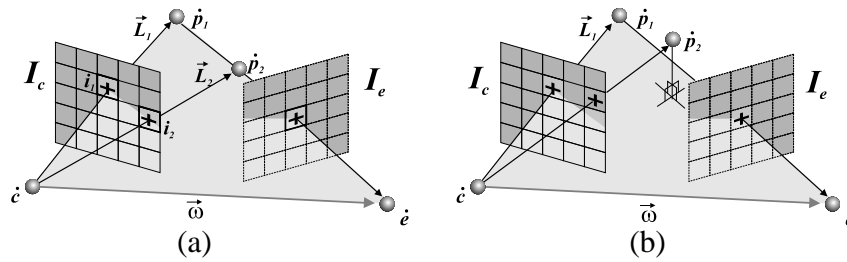


Abbildung 2.4: Epipolare Geometrie [FWH98] S.3

Der Strahl $\vec{\omega}$, der von c in Richtung e ausgeht heißt **positiver Epipolarstrahl**; der Strahl $-\vec{\omega}$ (nicht in der Abbildung) geht von c aus in die entgegengesetzte Richtung von $\vec{\omega}$ und heißt **negativer Epipolarstrahl**. Die Ebene, die durch die Punkte c , e und p_1 definiert wird, heißt **Epipolarebene**. Es gilt, dass sich die Punkte p_1 und p_2 einer realen Szene, die vom Punkt c aus aufgenommen wird (bzw. die ihnen zugeordneten Punkte i_1 und i_2 in der Abbildung I_c), in einer Abbildung I_e , die von e aus aufgenommen wird, nur dann überschneiden können, wenn p_1 , p_2 (bzw. i_1 , i_2), c und e in derselben Epipolarebene liegen.

Der Schnitt der Epipolarebene mit dem Bild I_c heißt **Epipolarlinie** (Abbildung 2.5a). Nur Pixel, die auf der Epipolarlinie liegen, sind Kandidaten für eine Überdeckung im Bild I_e . Der Schnittpunkt von I_c und $\vec{\omega}$ heißt **positiver Epipol**, der Schnittpunkt von I_c mit $-\vec{\omega}$ **negativer Epipol**. Alle Epipolarlinien verlaufen entweder durch den negativen oder den positiven Epipol (Abbildung 2.5b). Verlaufen die Epipolarstrahlen parallel zur Bildebene von I_c gibt es keinen Epipol und alle Epipolarlinien verlaufen parallel. Falls ein Punkt i_2 auf der Epipolarlinie näher am positiven Epipol liegt als ein Punkt i_1 , so kann i_1 den Punkt i_2 nicht verdecken und sollte daher vor i_2 in ein Bild I_e projiziert werden (Abbildung 2.5c). i_1 ist dann weiter als i_2 vom positiven Epipol entfernt, wenn der Winkel θ_1 zwischen \vec{L}_1 und $\vec{\omega}$ größer ist, als der Winkel θ_2 zwischen \vec{L}_2 und $\vec{\omega}$. Für einen negativen Epipol gilt, dass dem Epipol näher liegende Punkte auf der Epipolarlinie zuerst projiziert werden. Schneidet man alle Epipolarebenen mit dem Bild, kann man eine Zeichenreihenfolge zur Lösung des Sichtbarkeitsproblems für alle Bildpunkte ableiten, ohne Z -Werte der einzelnen Bildpunkte zu benötigen. Dabei gibt es nur drei Fälle zu unterscheiden: ein positiver Epipol existiert, ein negativer Epipol existiert und kein Epipol existiert. Im letzten Fall ist die Zeichenreihenfolge irrelevant. Abbil-

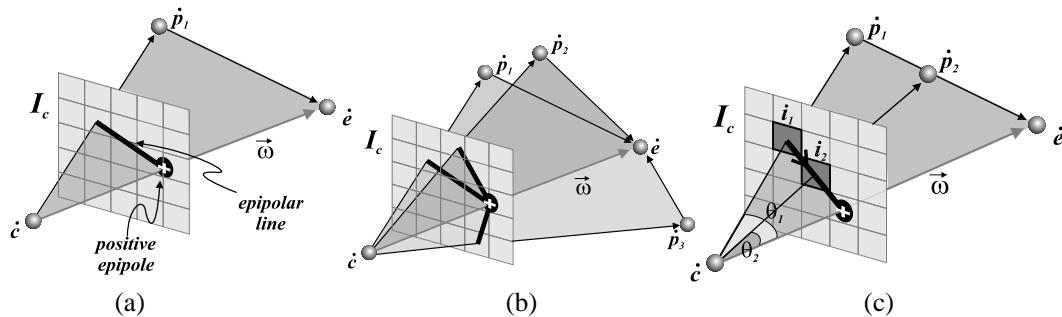


Abbildung 2.5: Ableitung der Zeichenreihenfolge für Bildpunkte auf der Epipolarlinie [FWH98] S.4

Abbildung 2.6 zeigt die drei Fälle (a-c) und die Zeichenreihenfolgen, die MCMILLAN abgeleitet hat (d und e). Punkte, die auf unterschiedlichen Epipolarlinien liegen, können in beliebiger Reihenfolge gezeichnet werden. MCMILLANS Zeichenreihenfolgen lassen sich nicht auf größere Mengen von Bildpunkten anwenden, da die Einzelpunkte dieser Mengen auf unterschiedlichen Epipolarlinien liegen könnten. Setzt man aber voraus, dass eine Menge von Punkten in der realen Szene den gleichen Z-Wert besitzen, so lässt sich für solche Punktmengen ebenfalls eine Zeichenreihenfolge ableiten. FU, WONG UND HENG nutzen in ihrem Algorithmus eine Bildzerlegung in Dreiecke, da Algorithmen existieren, die die Zerlegung eines Bildes in Dreiecke vornehmen und dabei die obige Bedingung ausreichend gut erfüllen, ohne ihrerseits Z-Werte der Bildpunkte als Input zu benötigen.¹⁴ Betrachtet werden zwei Dreiecke t_1 und t_2 , die über eine gemeinsame Kante verfügen. Die Menge der Epipolarlinien, die ein Dreieck überdeckt, wird **Epipolarband** genannt. Überdecken sich die Epipolarbänder zweier betrachteter

¹⁴vgl. [HDD⁺93], [SZL92] und [FP95]

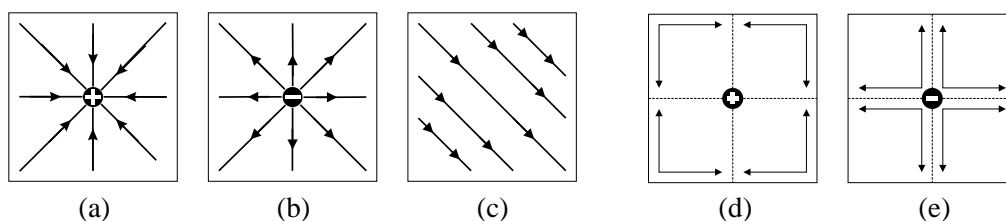


Abbildung 2.6: Zeichenmuster in Abhängigkeit vom Epipol (a-c) und Zeichenreihenfolge nach MCMILLAN (d-e) [FWH98] S.5

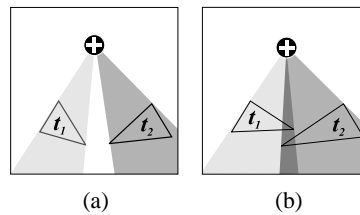


Abbildung 2.7: Epipolarband [FWH98] S.7

Dreiecke nicht, können sich auch keine Bildpunkte der Dreiecke überdecken (Abbildung 2.7a). Besteht eine Überdeckung der Epipolarbänder, ist eine Überdeckung von Bildpunkten möglich (Abbildung 2.7b). In diesem Fall wird bestimmt, welches Dreieck zuerst gezeichnet werden muss. Dazu wird das Bild durch die Verlängerung der gemeinsamen Kante in zwei Teile geteilt. Das Dreieck t_n , auf dessen Bildseite ein positiver Epipol liegt, wird später gezeichnet, als das Dreieck t_f auf der anderen Bildseite. Dies wird dargestellt durch $t_f \rightarrow t_n$. Das Dreieck t_n , auf dessen Bildseite ein negativer Epipol liegt, wird vor dem Dreieck t_f auf der anderen Bildseite gezeichnet ($t_n \rightarrow t_f$). Liegt ein Epipol direkt auf der gemeinsamen Kante ist die Zeichenreihenfolge irrelevant ($t_n \leftrightarrow t_f$). Schneiden die Epipolarstrahlen das Bild nicht, sind alle Epipolarlinien parallel. Die Zeichenreihenfolge lässt sich dann aus der Richtung der Epipolarlinien bestimmen. Sie ergibt sich hin zu einem Schnittpunkt von $\vec{\omega}$ und der Bildebene und weg von einem Schnittpunkt von $\vec{\omega}$ und der Bildebene.

Abbildung 2.8 zeigt alle Möglichkeiten der Zeichenreihenfolgen. Wurde für alle Dreiecke, in die das Bild zerlegt wurde, die paarweise Zeichenreihenfolge festgelegt, wird die Gesamtzeichenreihenfolge durch eine topologische Sortierung, beispielsweise mit Hilfe eines Graphen, festgelegt. Es ist zu beachten, dass nicht vorausgesetzt werden kann, dass der Graph azyklisch ist. Bei Fotografien von natürlichen Szenen kann dies eigentlich nicht vorkommen, da ein Objekt a , das sich vor einem Objekt b , das sich wiederum vor einem Objekt c befindet nicht gleichzeitig hinter dem Objekt c liegen kann. Fehler bei der Dreieckszerlegung des Bildes, also wenn ein Dreieck Bildpunkte mit stark unterschiedlichen Z-Werten enthält, können allerdings dennoch zu zyklischen Graphen führen. Der Zyklus kann durch zufällige Wahl eines Dreiecks im Zyklus als erstes zu zeichnendes Dreieck aufgebrochen werden. Dies kann allerdings zu einem Fehler in der Darstellung führen. Alternativ können die Bildpunkte aller Dreiecke, die Teil eines Zyklus sind, einzeln projiziert werden.

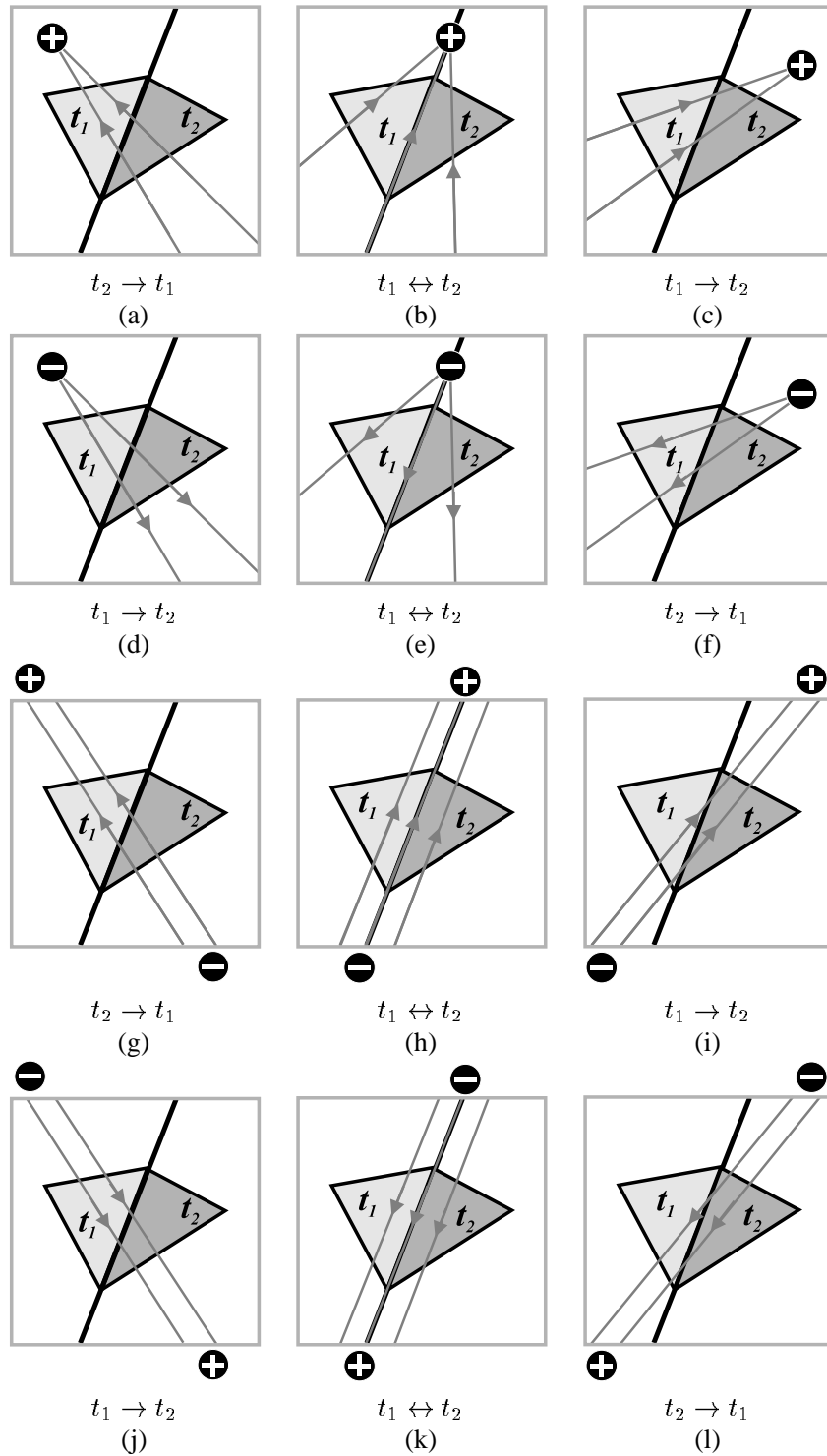


Abbildung 2.8: Zeichenreihenfolge für benachbarte Dreiecke [FWH98] S.9

3 Weiterführende Arbeiten

Die in dieser Arbeit vorgestellten Algorithmen stellen eine Pixel(mengen)zuordnung vom Quell- zum Zielbild her, um anschließend eine Projektion vorzunehmen. Dazu müssen mindestens die relativen Kamerapositionen der beiden Bilder bekannt sein. Alternativ dazu können auch Entfernungsinformationen (Z-Werte) der Bildpunkte verwendet werden. Verwandte Arbeiten sind *View morphing* und *A hybrid method of image synthesis in IBR for novel viewpoints*.¹⁵ Andere Ansätze zur Bildinterpolation im Rahmen von IBR finden sich in *Plenoptic modeling: an image based rendering system*, *The lumigraph*, *Light field rendering* und *Unstructured lumigraph rendering*.¹⁶ Einen Ansatz, der auch die Veränderung einer Szene über die Zeit berücksichtigt, wird in *Image-based spatio-temporal modeling and view interpolation of dynamic events* vorgestellt.¹⁷ Mit der Fragestellung, aus welchem Blickwinkel und wie viele Bilder für IBR sinnvollerweise aufgenommen werden sollten (sampling) beschäftigen sich *Non-Uniform Sampling for Image-Based Rendering: Convergence of Image, Vision, and Graphics* und *Pervasive views: area exploration and guidance using extended image media*.¹⁸ Es existieren eine Reihe von Ansätzen, die virtuelle Rundgänge aus Fotografien erzeugen. *A Panoramic-based Walkthrough System using Real Photos* baut direkt auf dem in Abschnitt 2.4 vorgestellten Artikel auf.¹⁹ Weitere interessante Artikel neuerer Zeit diesbezüglich sind *Sea of images*, *Easy tour: a new image-based virtual tour system* und *Photo tourism: exploring photo collections in 3D*.²⁰

¹⁵vgl. [SD96] und [LSW00]

¹⁶vgl. [MB95], [GGSC96], [LH96] und [BBM⁺01]

¹⁷vgl. [VBK05]

¹⁸vgl. [ZC04] und [ZW05]

¹⁹vgl. [CFF⁺99]

²⁰vgl. [AFYC03] [PFSX04] und [SSS06]

Literaturverzeichnis

- [AFYC03] ALIAGA, Daniel G.; FUNKHOUSER, Thomas; YANOVSKY, Dimah und CARLBOM, Ingrid. *Sea of Images*. In: *Computer Graphics and Applications*, 23(6) 22–30, 2003.
- [BB06] BENDER, Michael und BRILL, Martin. *Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch*. Hanser, München; Wien, 2. Auflage, 2006. ISBN 3-446-40434-1.
- [BBC06] BBC SPORT INTERACTIVE. *World Cup 2006, Virtual Replay*. British Broadcasting Corporation, London, 2006. Abgerufen am 16. März 2008.
URL http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/football/world_cup_2006/virtual_replay/default.stm
- [BBM⁺01] BUEHLER, Chris; BOSSE, Michael; MCMILLAN, Leonard; GORTLER, Steven und COHEN, Michael. *Unstructured lumigraph rendering*. In: *SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 425–432. ACM, New York, NY, USA, 2001. ISBN 1-58113-374-X.
- [BMI06] *Die Welt zu Gast bei Freunden, Sechster Fortschrittsbericht der Bundesregierung zur Vorbereitung auf die FIFA Fußball-Weltmeisterschaft 2006, Zusammenfassung*. Bundesministerium des Innern, Berlin, 2006. Abgerufen am 16. März 2008.
URL http://www.bmi.bund.de/Internet/Content/Common/Anlagen/Themen/Fussball-WM__2006/DatenundFakten/6__Fortschrittsbericht,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/6_Fortschrittsbericht.pdf

- [BN92] BEIER, Thaddeus und NEELY, Shawn. *Feature-based image metamorphosis*. In: Thomas [Tho92], 35–42.
- [CFF⁺99] CHAN, Yan-Fai; FOK, Man-Hong; FU, Chi-Wing; HENG, Pheng-Ann und WONG, Tien-Tsin. *A Panoramic-based Walkthrough System using Real Photos*. In: *Seventh Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 1999. Proceedings.*, 231–240. Seoul, South Korea, 1999. ISBN 0-7695-0293-8.
- [CW93] CHEN, Shenchang Eric und WILLIAMS, Lance. *View interpolation for Image Synthesis*. In: SIGGRAPH '93 [SIG93], Seite 279–288.
- [DSK00] DÖRR, Kai-Uwe; SCHIEFELE, Jens und KUBBAT, Wolfgang. *Virtual Simulation for Pilot Training*. Technischer Bericht, Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik, TU Darmstadt, Darmstadt auch in: Human Factors & Medicine Panel, NATO's Research & Technology Organization (RTO), Den Haag, April, 2000.
- [Fat07] FATTAL, Raanan. *Image upsampling via imposed edge statistics*. In: *SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 papers*, Artikel 95. ACM, New York, NY, USA, 2007. ISSN 0730-0301.
- [FP95] FLORIANI, Leila De und PUPPO, Enrico. *Hierarchical triangulation for multiresolution surface description*. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 14(4) 363–411, 1995. ISSN 0730-0301.
- [FWH98] FU, Chi-Wing; WONG, Tien-Tsin und HENG, Pheng-Ann. *Triangle-based view Interpolation without depth-buffering*. In: *Journal of Graphics Tools*, 3(4) Seite 13–31, 1998. ISSN 1086-7651.
- [Geh06] GEHRINGER, Thomas. *WM-Fußball in der dritten Dimension*. In: *Westdeutsche Zeitung*, 03.Juni, 2006. Abgerufen am 16.März 2008.
URL <http://www.wz-newsline.de/sro.php?redid=117908>
- [GGSC96] GORTLER, Steven J.; GRZESZCZUK, Radek; SZELISKI, Richard und COHEN, Michael F. *The lumigraph*. In: SIGGRAPH '96 [SIG96], 43–54.

- [HDD⁺93] HOPPE, Hugues; DEROSE, Tony; DUCHAMP, Tom; McDONALD, John und STUETZLE, Werner. *Mesh optimization*. In: SIGGRAPH '93 [SIG93], 19–26.
- [JPY06] JEON, Bo-Won; PARK, Rae-Hong und YANG, Seungjoon. *Resolution enhancement by prediction of the high-frequency image based on the Laplacian pyramid*. In: *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2006(1) 234–234, 2006. ISSN 1110-8657.
- [Koh77] KOHLER, Thomas R. *Optical Videodisc technology*. In: *ACM '77: Proceedings of the 1977 annual conference*, Seite 266–270. ACM, Chairman: James S. Ketchel and Chairman: Harvey Z. Kriloff and Chairman: H. Blair Burner and Chairman: Patricia E. Crockett and Chairman: Robert Herriot and Chairman: George B. Houston and Chairman: Cathy S. Kitto, New York, NY, USA, 1977.
- [Lau80] LAUB, Leonard J. *Optical mass storage technology*. In: *CAW '80: Proceedings of the fifth workshop on Computer architecture for non-numeric processing*, Seite 8–10. ACM, Chairman: David K. Hsiao and Chairman: Glen Langdon, New York, NY, USA, 1980.
- [LH96] LEVOY, Marc und HANRAHAN, Pat. *Light field rendering*. In: SIGGRAPH '96 [SIG96], 31–42.
- [Lip80] LIPPMAN, Andrew. *Movie-Maps: An Application of the Optical Videodisc to Computer Graphics*. In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 14(3) Seite 32–42, 1980. ISSN 0097-8930.
- [LSW00] LIU, Xuehui; SUN, Hanqiu und WU, Enhua. *A hybrid method of image synthesis in IBR for novel viewpoints*. In: *VRST '00: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, Seite 55–60. ACM, Conference Chair: Ha Jine Kimn and Program Chair: Kwang Yun, New York, NY, USA, 2000. ISBN 1-58113-316-2.
- [MB95] MCMILLAN, Leonard und BISHOP, Gary. *Plenoptic modeling: An image-based rendering system*. In: MAIR, Susan G. und COOK, Robert (Herausgeber), *SIGGRAPH '95: Proceedings of the 22nd annual conference on Com-*

- puter graphics and interactive techniques*, 39–46. ACM, New York, NY, USA, 1995. ISBN 0-89791-701-4.
- [McM95] MCMILLAN, Leonard. *Computing visibility without depth*. Technischer Bericht TR95-047, University of North Carolina, Chapel Hill, 1995.
- [Med06] MEDIA SEASONS. *News*. Steffen Kleinke und Ronny Burkersroda GbR, Meldungen vom 12.07.2006 und 18.08.2006, Leipzig, 2006. Abgerufen am 16.März 2008.
URL <http://www.mediaseasons.com>
- [PB92] POGGIO, Tomaso und BRUNELLI, Roberto. *A Novel Approach to Graphics*. Technischer Bericht AIM 1354, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1992.
- [PFSX04] PAN, Zhigeng; FANG, Xianyong; SHI, Jiaoying und XU, Dan. *Easy tour: A new image-based virtual tour system*. In: *VRCAI '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*, Seite 467–471. ACM, Conference Chair: Judith Brown and Conference Chair: Yiyu Cai, New York, NY, USA, 2004. ISBN 1-58113-884-9.
- [Sch05] SCHREER, Oliver. *Stereoanalyse und Bildsynthese*. Springer, Berlin Heidelberg, 2005. ISBN 3-540-23439-X.
- [SD96] SEITZ, Steven M. und DYER, Charles R. *View morphing*. In: *SIGGRAPH '96 [SIG96]*, 21–30.
- [Ser06] SERVINGO PROJEKT. *Interaktive 3D-Spielaufbereitung*. Dirk Balfanz, Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e.V., 2006. Abgerufen am 16.März 2008.
URL <http://www.servingo.org/projekt/3dspiele.html>
- [SIG93] *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM, Chairman: Mary C. Whitton, New York, NY, USA, 1993. ISBN 0-89791-601-8.

- [SIG96] *SIGGRAPH '96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM, Chairman: John Fujii, New York, NY, USA, 1996. ISBN 0-89791-746-4.
- [SSS06] SNAVELY, Noah; SEITZ, Steven M. und SZELISKI, Richard. *Photo tourism: exploring photo collections in 3D*. In: *SIGGRAPH '06: ACM SIGGRAPH 2006 Papers*, Seite 835–846. ACM, Conference Chair: John Finnegan and Program Chair: Julie Dorsey, New York, NY, USA, 2006. ISBN 1-59593-364-6.
- [SZL92] SCHROEDER, William J.; ZARGE, Jonathan A. und LORENSEN, William E. *Decimation of triangle meshes*. In: Thomas [Tho92], 65–70.
- [Tho92] THOMAS, James J. (Herausgeber). *SIGGRAPH '92: Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM, New York, NY, USA, 1992. ISBN 0-89791-479-1.
- [Tom05] TOMCZAK, Leonard. *Practical Aspects of 3D Graphical Applications in Maritime Engineering Education*. In: *Global Journal of Engineering Education*, 9(2) Seite 137–142, 2005. UNESCO International Centre for Engineering Education (UICEE), abgerufen am 16. März 2008.
URL <http://eng.monash.edu.au/uicee/gjee/vol9no2/Tomczak.pdf>
- [Tur90] TURKOWSKI, Ken. *Filters for common resampling tasks*. In: GLASSNER, Andrew (Herausgeber), *Graphics gems*, 147–165. Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA, 1990. ISBN 0-12-286169-5.
- [VBK05] VEDULA, Sundar; BAKER, Simon und KANADE, Takeo. *Image-based spatio-temporal modeling and view interpolation of dynamic events*. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 24(2) Seite 240–261, 2005. ISSN 0730-0301.
- [ZC04] ZHANG, Cha und CHEN, Tsuhan. *Non-Uniform Sampling for Image-Based Rendering: Convergence of Image, Vision, and Graphics*. In: *MMM '04: Proceedings of the 10th International Multimedia Modelling Conference*,

2. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2004. ISBN 0-7695-2084-7.

- [ZW05] ZHENG, Jiang Yu und WANG, Xiaolong. *Pervasive views: area exploration and guidance using extended image media*. In: *MULTIMEDIA '05: Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia*, Seite 986–995. ACM, General Chair: Hongjiang Zhang and General Chair: Tat-Seng Chua and Program Chair: Ralf Steinmetz and Program Chair: Mohan Kankanhalli and Program Chair: Lynn Wilcox, New York, NY, USA, 2005. ISBN 1-59593-044-2.