Automatisierte Generierung realistischer 3D−Modelle für Simulatoren

Ralf Tönjes, Oliver Grau

Universität Hannover,
Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung,
Abteilung "Automatische Bildinterpretation", Prof. Dr.−Ing. Liedtke,
Appelstr. 9A, D−30167 Hannover,
E−mail: toenjes@tnt.uni−hannover.de, grau@tnt.uni−hannover.de

Der Beitrag beschreibt ein System zur automatisierten Erzeugung realistischer 3D−Modelle von existierenden Objekten aus Bildfolgen. Das Aussehen der Modelle wird durch explizit formuliertes Wissen über deren Form verbessert. Um zu untersuchen, wie realistisch die generierten 3D−Modelle wirken, wurde eine Stereosimulation mit polarisiertem Licht realisiert, die dem Betrachter einen räumlichen Eindruck der Szene vermittelt.

1. Einleitung

Für Flug− und Fahrsimulatoren besteht ein wachsender Bedarf an realistischen 3D−Modellen. In Hinblick auf eine praxisgerechte Ausbildung wird zunehmend der Wunsch nach einer wirklichkeitsgetreuen Rekonstruktion bestehender, bekannter Objekte geäußert. Eine manuelle Rekonstruktion mit CAD−Methoden ist sehr zeit− und kostenaufwendig. Eine automatisierte Modellierung dreidimensionaler Szenen ist daher Gegenstand zahlreicher Forschungen [1][2][3][4][5][6].

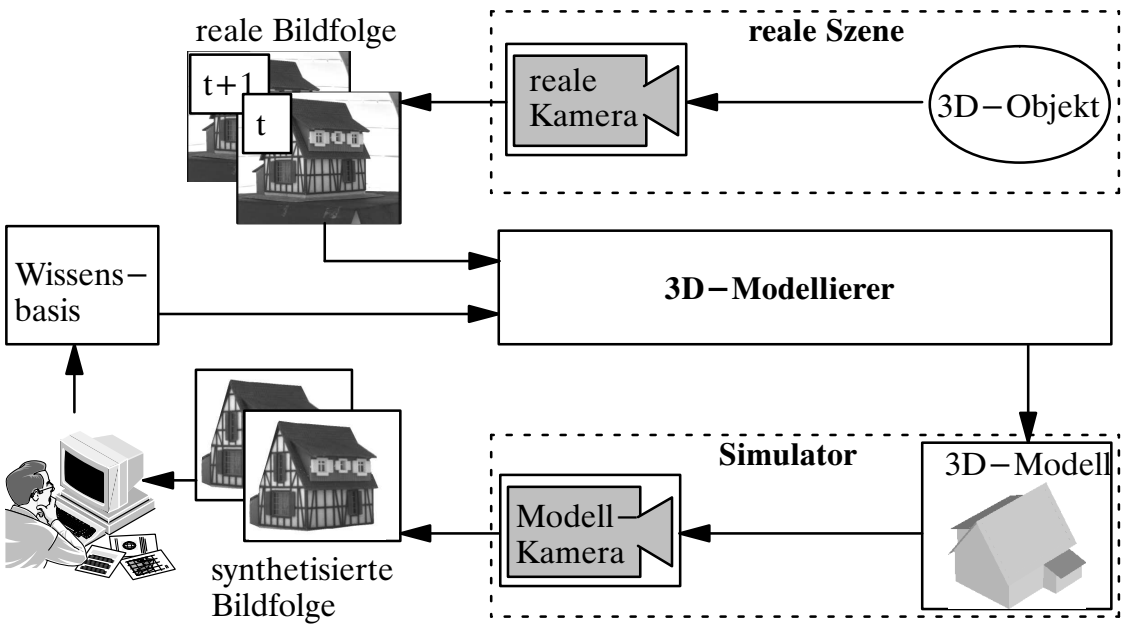


Bild 1: Vorgehen bei der wissensbasierten Erzeugung von 3D–Modellen aus Bildfolgen

Bild 1 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise bei der automatisierten Erstellung von 3D−Modellen für Simulatoren. Das reale Objekt wird über eine oder mehrere Kameras aufgezeich-

net. Aus der Bildfolge wird ein 3D−Modell rekonstruiert, das auf einem Simulator visualisiert werden kann. Die 3D−Rekonstruktion einer Szene aus ihren 2D−Projektionen ist jedoch mathematisch unterbestimmt. Daraus resultieren Modellfehler:

- Aus den Bildern läßt sich nur ein unvollständiges Modell, ein $2^1/_2$ D−Modell, gewinnen, da einige Ansichten der Objekte, wie z.B. Waldkanten in Luftbildern, aufgrund von Verdekkungen nicht sichtbar sind.
- Wegen der begrenzten Sensorauflösung können Details, wie Gebäude und Bäume in Luftbildern, nicht rekonstruiert werden. Insbesondere sind fehlende Höhensprünge in Verbindung mit Schattenwürfen kritisch, da ein Schatten ohne Höhensprung mit zugehörigen Verdeckungen optisch falsch erscheint.

Das hat zur Folge, daß die Modelle häufig nicht den Erwartungen des Betrachters entsprechen und unrealistisch wirken. Der Betrachter weiß, daß Hauswände eben sind, Straßen stetig verlaufen und an Waldrändern ein Höhensprung auftritt. Dieses Vorwissen muß explizit formuliert werden, um die Modellparameter einzuschränken.

Im Gegensatz zu bisherigen rein manuellen Modellierungsverfahren mit CAD−Techniken muß der Modellierungsexperte das Modell nicht mehr Punkt für Punkt konstruieren. Er gibt vielmehr auf höherem Abstraktionsniveau mithilfe einer Wissensbasis geometrische Randbedingungen für die automatisierte Modellierung aus Bildfolgen vor.

Die Wissensbasis ist derart strukturiert, daß sie von einem Modellierungsexperten leicht an ähnliche Modellierungsaufgaben angepaßt werden kann. D.h. das Wissen muß in Hinblick auf Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit formuliert werden. Um das Wissen, insbesondere das Prototypwissen über Klassen von Objekten, wie beispielsweise Wälder, Straßen und Gebäude, in der Modellierung nutzen zu können, ist eine Bildinterpretation notwendig. Die Bildinterpretation hat zum Ziel, den Regionen im Bild Bedeutungen zuzuweisen und somit die verschiedenen Objekte zu unterscheiden. Die erkannte Objektbedeutung wird anschließend verwendet, um die geometrischen Parameter des Modells für die Rekonstruktion aus dem Bildausschnitt einzuschränken. Aus diesem Grunde führt das vorgestellte Modellierungssystem AIDA (Automatic Image Data Analyzer) eine Bildinterpretation durch, um Wissen über die Objekte für die Rekonstruktion der Szene zu nutzen [7][8][9].

Die automatisierte Erzeugung von realistischen 3D−Modellen wird im folgenden am Beispiel von Landschaften (Fernbereichmodellierung) und Einzelobjekten wie Gebäuden (Nahbereichmodellierung) dargestellt.

2. Systemübersicht

Bild 2 gibt einen Überblick über das Gesamtkonzept, das die drei Module Registrierung, 3D−Modellierung und Visualisierung umfaßt.

Eingangsdaten für die Modellierung sind Folgen überlappender Bildpaare. Um die Bilder im gewählten Koordinatensystem zu registrieren, ist die Bestimmung von Position und Orientierung der Kamera notwendig. Die initiale Kalibrierung der Kamera erfolgt mithilfe von Paßpunkten, deren räumliche Lage bekannt ist. Die weitere Kamerabewegung wird unter Verwendung des 3D−Modells aus dem optischen Fluß in den zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern bestimmt. Anschließend werden die Bilder geometrisch und radiometrisch entzerrt, um die nachfolgende Bildanalyse zu erleichtern.

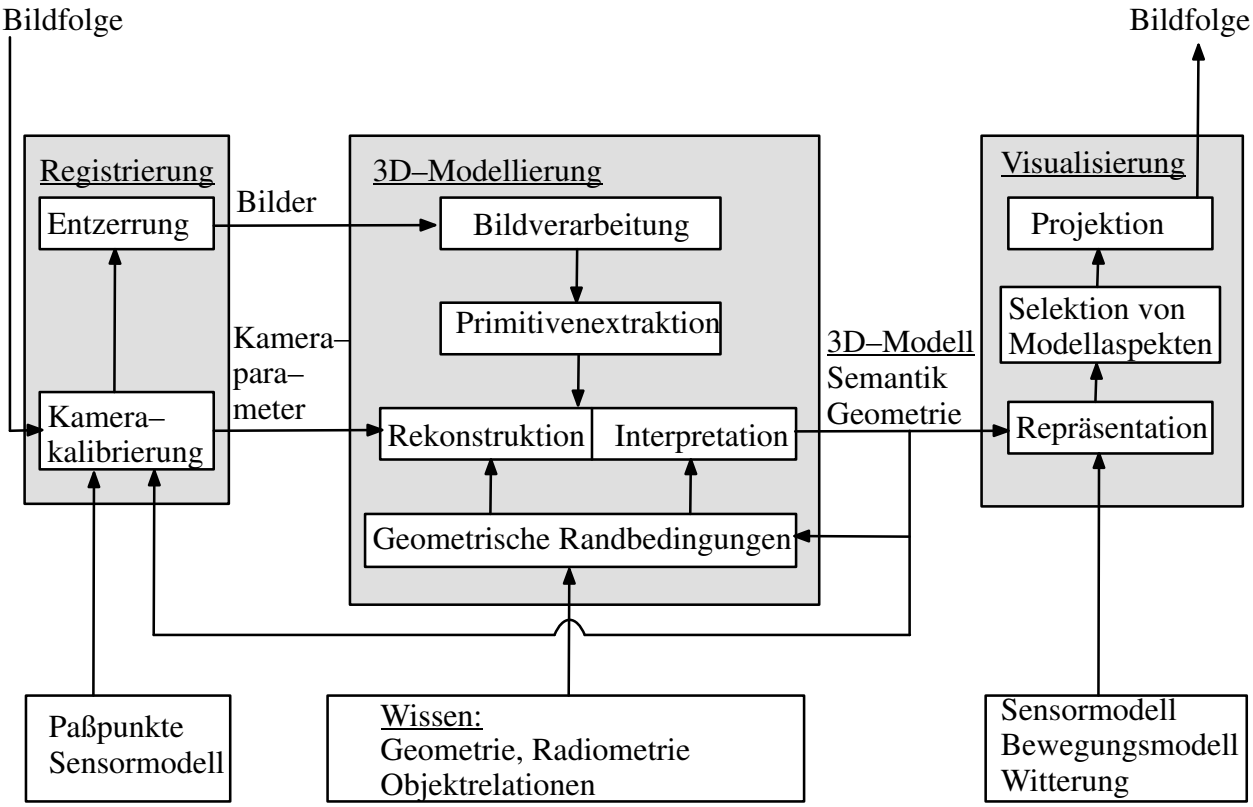


Bild 2: Architektur des Systems zur 3D–Modellierung und Visualisierung

Die Modellierung nutzt Wissen über die in der Szene erwarteten Objekte, wie Wissen über deren geometrische und radiometrische Eigenschaften und den Relationen zwischen den Objekten. Das Wissen ist explizit in einem semantischen Netz repräsentiert.

Das Bildverarbeitungsmodul berechnet aus dem stereoskopischen Bildpaar eine Tiefenkarte. Basierend auf der Tiefenkarte und den photometrischen Merkmalen werden die Bilder segmentiert. Die Primitivenextraktion liefert eine erste symbolische Beschreibung durch geometrische Primitive. Die Interpretation gruppiert die geometrischen Primitive unter Verwendung der in der Wissensbasis formulierten Prototypen und ordnet ihnen eine szenenspezifische Bedeutung zu. Aus der Objektbedeutung werden geometrische Randbedingungen abgeleitet, die die freien Modellparameter einschränken und die Oberflächenrekonstruktion verbessern.

Für die Visualisierung wird die Szene durch hierarchisch strukturierte Polygonnetze mit Phototextur für die Einzelobjekte approximiert. Um einen räumlichen Eindruck von den Modellen zu vermitteln, wird ein Stereoprojektionssystem mit polarisiertem Licht verwendet. Der 3D−Charakter des Modells kann zudem durch Beleuchtung, Dunsteffekte und Bewegung durch die Szene hervorgeheben werden.

3. Datenakquisition und Registrierung

Als Grundlage für die Modellierung von Objekten mit realer Phototextur werden Bilddaten benötigt. In Hinblick auf eine Eignung der Bilddaten für die Modellierung sind hierzu verschiedene Aufnahmetechniken entwickelt worden.

Für bewegliche Einzelobjekte, wie Fahrzeuge, eignen sich besonders Drehtelleraufbauten zur Aufnahme von Rundumansichten. Die Bewegung des Drehtellers ist hierbei bekannt, so daß die Modellansichten leicht fusioniert werden können. Die konstant gehaltene Kameraorien-

tierung muß nur einmal vor Beginn der Aufnahme bestimmt werden. Um die nachfolgende Modellierung zu vereinfachen, wird eine kontrastreiche Hintergrundfarbe (hier: blau) gewählt. Die Trennung von Objekt und Hintergrund erfolgt mithilfe des Chroma−Keying−Verfahrens [6].

Bei unbeweglichen Objekten, wie Gebäuden, muß das Meßsystem um das Gebäude herumgeführt werden. Dies erfordert die zusätzliche Schätzung der Kamerabewegung. Um gleichzeitig die Objektgeometrie hinreichend genau zu bestimmen, wurde ein Stereokamerasystem realisiert [2].

Für die Modellierung von Landschaften kann auf Luft− und Satellitenbilder zurückgegriffen werden. Zur Erstellung von Karten werden im Auftrag der Landesvermessungsämter regelmäßig, spätestens alle 5 Jahre, Bildflüge durchgeführt. Die senkrecht aufgenommenen Luftbilder überdecken das Landesgebiet schachbrettartig und lückenlos. Jedes Luftbild hat ein Originalformat von 23x23 cm^2; es ist üblicherweise im Maßstab 1:12000 aufgenommen und bildet eine Geländefläche von ca. 2,7x2,7 km^2. Dies entspricht dem Gebiet eines Blattes der Deutschen Grundkarte 1:5000. Während die Luftbilder für die Bundesrepublik flächendekkend existieren, kann in anderen Regionen nur auf Satellitenbilder (Landsat, SPOT, ERS−1 etc.) zurückgegriffen werden. Diese stehen jedoch weltweit ohne die Notwendigkeit einer Regierungsgenehmigung der abgebildeten Länder zur Verfügung.

Die exakte Registrierung der Bilder erfordert eine Kamerakalibrierung. Die Kameraorientierung wird mithilfe von 3D−Paßpunkten durch das Verfahren des Bündelblockausgleichs bestimmt. Die Paßpunkte werden entweder, wie beim Drehtelleraufbau, durch ein spezielles Kalibriermuster vorgegeben oder technischen Zeichnungen bzw. Karten entnommen. Für Luftaufnahmen sind von den Landesvermessungsämtern zudem die exakt vermessenen Koordinaten der amtlichen Paßpunkte erhältlich.

Mithilfe der bekannten Kameraorientierung können die überlappenden Bilder derart entzerrt werden, daß die Epipolarlinie mit der Bildzeile übereinstimmt. Diese Entzerrung vereinfacht die Suche nach homologen Punkten in der nachfolgenden Stereokorrespondenzanalyse.

4. Modellierung durch Bildanalyse

4.1 Modellierungsverfahren

Prinzipiell lassen sich aktive und passive Verfahren zur Gewinnung der 3D−Geometrie von Objekten aus Bildern unterscheiden. Passive Verfahren gliedern sich in Verfahren, die auf einer monokularen Ansicht basieren und solchen, die mehrere Ansichten verwenden,

Aktive Verfahren nutzen das Radar oder Lichtstrahlen zur Höhenmessung. Da bei aktiven Verfahren die Phase des gesendeten Signals bekannt ist, kann mithilfe der Interferometrie aus mehreren Ansichten sehr exakt die 3D−Geometrie rekonstruiert werden. So sind mithilfe des ERS−1 SAR−Sensors aus dem Weltall Höhenmodelle mit einer Fehlertoleranz von 3 bis 4 Metern generiert worden. Höhenänderungen zwischen zeitlich versetzten Aufnahmen wurden gar mit einer Genauigkeit von 3 mm detektiert [10].

Für die Messung der 3D−Oberfläche von Objekten sind spezielle Lichtprojektoren entwikkelt worden, die ein Lichtmuster auf das Objekt projizieren. Die Lage der als zeitliche Hell−Dunkel−Folge codierten Lichtmuster erlaubt eine Rekonstruktion der 3D−Geometrie. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit der Bilddaten aktiver Sensoren und der für die

Freilandmessung verfahrensbedingten eingeschränkten Eignung (Schatten, Mehrfachreflektionen, geringer Signal−Rausch−Abstand etc.) werden hier passive Verfahren eingesetzt.

Zu den passiven Verfahren, die mehrere Ansichten verwenden zählen, die Stereobildanalyse [11] und die Messung des optischen Flußes aufgrund einer Bewegung. Eine sehr effiziente Möglichkeit der 3D−Modellierung stellt das Silhouettenverfahren dar [5][6]. Aus den mittels Drehteller aufgenommenen Rundumansichten des Objektes wird die Objektsilhouette segmentiert (Chroma−Keying). Die in den Raum projizierten Objektsilhouetten liefern ein umschließende Volumen des Objektes.

Monokulare Verfahren nutzen unterschiedliche Positionierungen der Lichtquelle, die Schattierung des 3D−Objektes, die Variation der Kamerabrennweite oder die mit weiterem Abstand zunehmende Texturverdichtung.

Aufgrund der hohen Genauigkeitsanforderungen und universellen Einsetzbarkeit für Außenaufnahmen werden in dieser Studie zur 3D−Modellierung mehrere Ansichten herangezogen und die Verfahren der Triangulierung aus Stereobildpaaren eingesetzt.

4.2 Stereobildanalyse

Die Stereobildanalyse beruht auf der Bestimmung der Parallaxe zwischen homologen Punkten im Stereobildpaar. Bei bekannter Kameraorientierung kann aus der Parallaxe die räumliche Lage des entsprechenden Punktes im 3D−Modell berechnet werden.

Um die höhenabhängige Parallaxe der homologen Punkte zu bestimmen, wird eine Korrespondenzanalyse durchgeführt. Als Kostenfunktion für die Zuordnung der homologen Punkte wird die normierte Kreuzkorrelation verwendet. Die optimale globale Zuordnung für jede Zeile mittels dynamischer Programmierung liefert eine dichte Parallaxekarte für jeden Punkt im Bildpaar. Der Forderung nach glatten Oberflächen trägt eine nachfolgende Interpolation über kontinuierliche Regionen Rechnung.

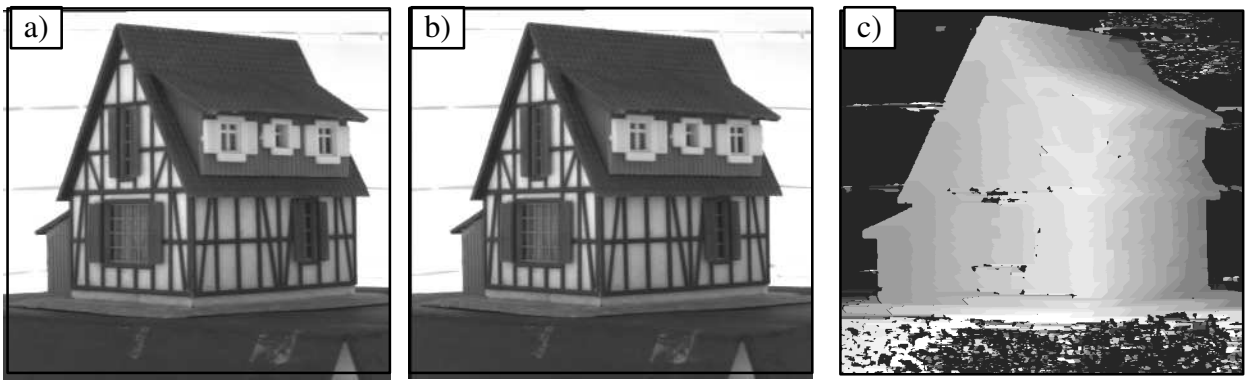


Bild 3: a) linkes und b) rechtes Originalbild und c) Tiefenkarte (helle Bildpunkte entsprechen einer geringen Szenentiefe)

Anschließend wird die Parallaxekarte mithilfe der binokularen Kamerageometrie in eine Tiefenkarte umgerechnet. Die Tiefenkarte wird unterabgetastet und durch ein Polygonnetz approximiert. Als günstig für die Modellierung haben sich Dreiecksnetze erwiesen, da bei Dreiecken die Verschiebung eines Stützpunktes möglich ist, ohne die anderen Stützpunkte zur Erhaltung der Ebenenbedingung verschieben zu müssen.

4.3 Wissensbasierte Modellierung

Die wissensbasierte Modellierung nutzt Vorwissen über Objekte für deren geometrische Rekonstruktion. Während datengetriebene Modellierungsansätze nur wenige und allgemeine geometrischen Randbedingungen (Constraints) nutzen, wie beispielsweise die Annahme einer stückweise kontinuierlich verlaufenden Objektoberfläche [2][3], ermöglicht hier eine Interpretation die Verwendung sehr spezifischer Objekteigenschaften. In der Bildinterpretation sind zahlreiche unterschiedliche Beschreibungsformen für die Objekte und das Wissen über diese üblich. Häufig finden Regeln Verwendung [12] mit denen Gesetzmäßigkeiten in einer dem Menschen leicht verständlichen Form angegeben werden. Eine andere Wissensrepräsentationsform, die sich insbesondere sehr zur Formulierung von strukturellen Beziehungen eignet, sind die semantischen Netze [8][13]. Ein weiterer Vorteil der letzteren Form ist, daß gerade die Constraints sich damit darstellen lassen. Daher dienen in AIDA semantische Netze zur einheitlichen Wissensdarstellung, sowohl für die Interpretation, als auch für die geometrischen Constraints, die für die räumliche Rekonstruktion benötigt werden.

Die Art der für die Modellierung nutzbaren Objekteigenschaften und das Vorgehen zur Einbringung in die Modellierung ist bei den beiden hier betrachteten Anwendungsbereichen unterschiedlich:

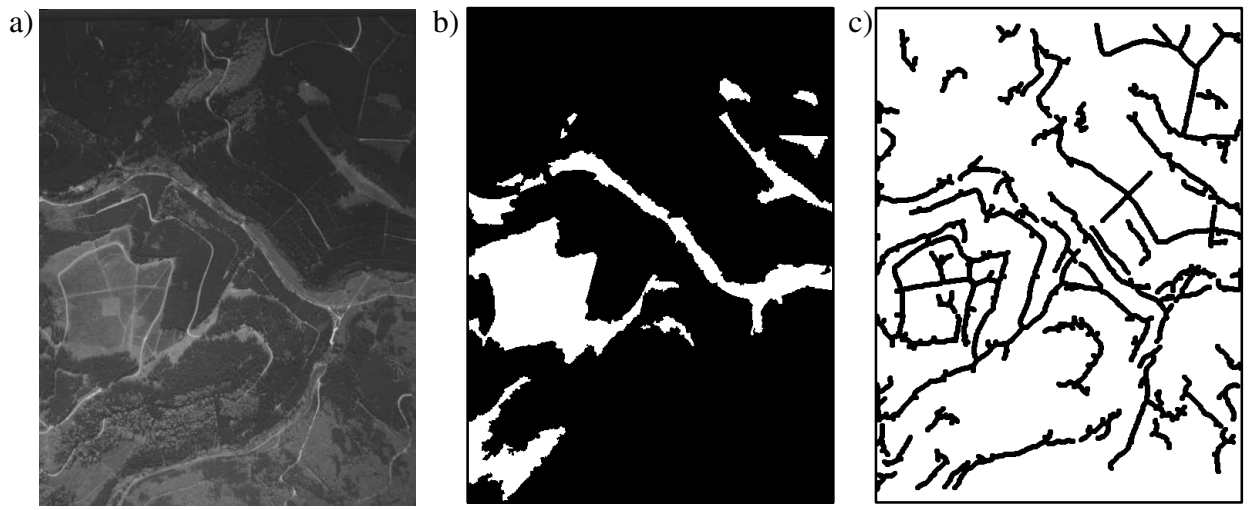


Bild 4: a) Luftbild und Segmentmasken für b) Wald und c) Straßen

Die Modellierung von Landschaften ist sehr stark bildorientiert. Das Ausgangsmaterial für die Rekonstruktion sind Stereobildpaare, die die Szene nur von oben zeigen, so daß hier immer Verdeckungen auftreten. Insbesondere bei Häusern oder Wäldern sind die horizontalen Strukturen, also die Hauswände und Waldkanten nicht in der bildlichen Projektion vorhanden. Die Interpretation besteht nun in einer Segmentierung in verschiedene Regionen, wie Wälder, Wiesen und Straßen [14]. Die Szene kann durch Objektmasken beschrieben werden (Bild 4). Nachfolgend nutzt das Modul zur Oberflächenrekonstruktion diese Information, um mithilfe der durch Stereokorrespondenzanalyse gewonnenen Tiefenkarten die Geometrie nachzubilden. An Übergängen von Wäldern auf Wiesen wird ein Höhensprung im Modell erzwungen und die nichtsichtbare Waldkante eingefügt. Straßen werden als separate Teilnetze mit einem Kontinuitätskriterium modelliert, was bewirkt, daß sie nicht zu starke Knicke beinhalten und damit für den Betrachter natürlicher wirken.

Der zweite Anwendungsbereich, die Gebäudemodellierung, ist ein Problem der Nahbereichsphotogrammetrie. Eingangsmaterial sind hier Stereobildpaare und daraus gewonnene Tiefenkarten. Im Gegensatz zur Geländemodellierung stehen aber mehrere Ansichten des zu modellierenden Objektes zur Verfügung. Das heißt im Idealfall steht eine Bildfolge zur Verfügung, die ein Gebäude von allen Seiten zeigt. Aufgrund der vielfältigen Erscheinungsformen von Gebäuden, ist eine einfache Segmentierung nur aus den Eingangsbildern nicht befriedigend möglich. Statt dessen zieht die Interpretation verschiedene Merkmale und Objekteigenschaften in Betracht. Die Beschreibung erfolgt in einem semantischen Netz [8], das in drei Schichten organisiert ist. Bild 5 zeigt einen vereinfachten Ausschnitt aus einer solchen generischen Prototypenbeschreibung: Die Szenenebene beschreibt Objekte und Objektteile auf einem hohen Niveau in Form von abstrakten Begriffen und ordnet den Teilen szenenspezifische Bedeutungen zu. Die mittlere Schicht beschreibt die geometrischen Ausprägungen der Objekte im Dreidimensionalen und in absoluten Weltkoordinaten (weltbezogen). Die unterste Schicht stellt den Bezug der Objekte zu deren 2D−Abbildung dar (kamerabezogen).

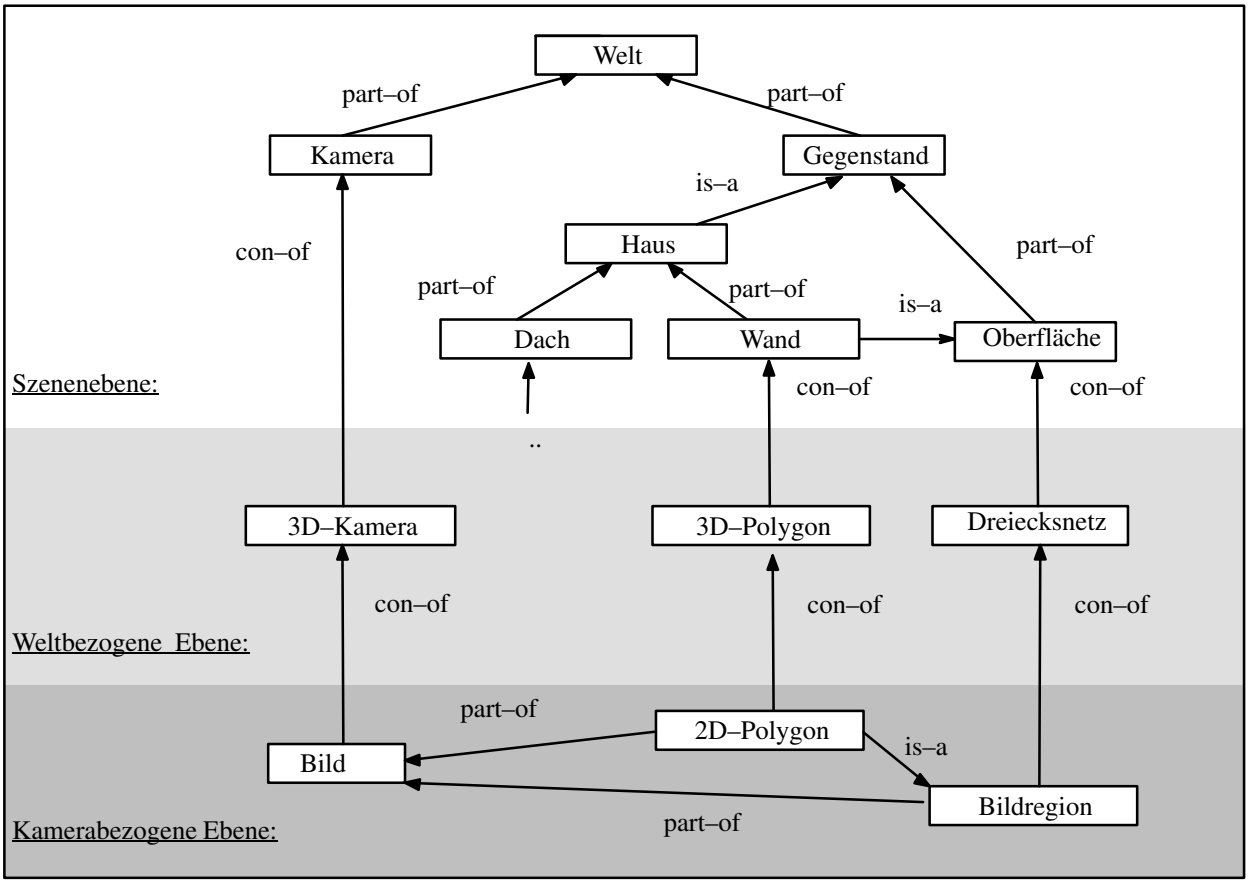


Bild 5: Stark vereinfachter Ausschnitt aus dem semantischen Prototypen–Netz. Das Prototypen–Netz beschreibt die Dekomposition des Modells in seine Bestandteile (part–of), deren Spezialisierung (is–a) und Konkretisierung in den Daten (con–of).

Die Interpretation, die als Eingangdaten Segmentierungsergebnisse, Tiefenkarten und die Prototypenbeschreibung in Form eines semantischen Netzes erhält, hat nun das Ziel, der betrachteten Szene die zutreffenden Knoten des semantischen Prototypen−Netzes zuzuordnen. Die Interpretation erfolgt in einem Bottom−up und Top−down Analyseprozeß. Beim Auftreten von Mehrdeutigkeiten wird für jede Deutungsmöglichkeit eine Hypothese er-

zeugt und bewertet. Ein modifizierter A*−Algorithmus selektiert daraus die am besten zutreffende Hypothese. Die so gewonnene Szenenbeschreibung, einschließlich der Constraints, dient der nachfolgenden Oberflächenrekonstruktion, um zu subjektiv ansprechenderen Modellen zu gelangen [7].

5. Modelldarstellung auf einem Simulator

5.1 Datenstrukturen

Für eine effiziente Visualisierung des 3D−Modells auf einem Simulator wird die gewonnene Tiefeninformation des Modells abgetastet und durch ein räumliches Dreiecksnetz approximiert. Für die Darstellung der 3D−Modelle auf einem Simulator müssen dessen spezielle Hardware−Eigenschaften genutzt werden, um ein Maximum an Performance zu erzielen. Da die meisten Grafik Pipelines, wie z.B. die Silicon Graphics, zur Visualisierung von Polygonen eine Triangulierung durchführen, eignen sich insbesonder Dreiecksnetze. Größere zusammenhängende Flächenstücke, wie Hauswände sind nach außen hin zwar Polygone, setzen sich aber ebenfalls aus Dreiecken zusammen. Die Feinstruktur von Objekten wird nicht mehr als Geometrie modelliert, sondern als Phototextur gespeichert. Zu diesem Zweck werden die Eingangsbilder auf das Netz projiziert und in einer Texturemap als Phototextur gespeichert.

Die während der Interpretation durchgeführte Zerlegung der Szene in einzelne Objekte und Objektteile wird beibehalten und an das Visualisierungssystem übergeben. Dies ermöglicht ein effizientes Culling, das ist die Vorauswahl von Objektteilen, die nicht sichtbar sein können, weil sie beispielsweise nicht im Blickwinkel der (virtuellen) Kamera sind. Das Culling ist notwendig um die Grafikhardware nicht zu überfordern und eine möglichst hohe Framerate zu erreichen.

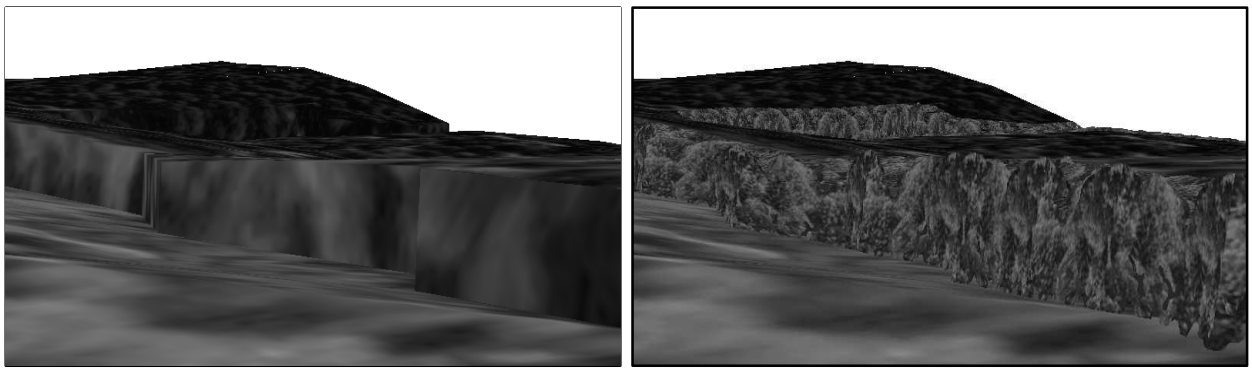


Bild 6: Waldkante a) ohne und b) mit synthetisierten Baumstrukturen des höherem Level of Detail

Eine weitere Methode zur Verringerung der Szenenkomplexität während der Bildsynthese ist der Einsatz von Objekten mit abgestufter Komplexität (Levels of Detail). So kann beispielsweise ein Waldrand, der in der virtuellen Welt (im Rechner) weit entfernt ist und somit in der Abbildung sehr klein erscheint, mit nur sehr wenigen Polygonen dargestellt werden, ohne unnatürlich zu wirken. Erst wenn der Abstand zur virtuellen Kamera kleiner wird, muß das Modell detailierter dargestellt werden, einen höheren 'Level of Detail' erhalten. Bild 6 zeigt zwei Detailierungsgrade einer Waldkante.

Als sehr effiziente Möglichkeit zur Modellierung von Feinstrukturen können den Bildelementen Transparenzwerte zugeordnet werden (Alpha−Kanal). So können beispielsweise Blattwerk von Bäumen nicht als eine Vielzahl von Einzelblättern modelliert werden, sondern zu

Gruppen in ein Dreieck zusammengefaßt werden. Ein zugeordneter Alpha−Kanal sorgt für eine Durchlässigkeit an Stellen die keinem Blatt entsprechen, so daß mit geringem Aufwand an Geometrie viel Struktur (Blätter) nachgeahmt wird.

5.2 Visualisierungssystem

Für die Archivierung der Modelle stehen verschiedene Standarddateiformate zur Verfügung. Bei dem hier verwendeten Simulator, einer Silicon Graphics (Onyx), wird das Inventor−Dateiformat verwendet. Beim Laden der Modelle konvertiert ein Parser die Modelle in eine Darstellung zur Echtzeitvisualisierung. Die Software ist mit der Virtual−Reality−Software Performer erstellt. Dieses Paket sieht eine Reihe von Möglichkeiten zum Aufbau eines Simulators vor, wie Culling, Level of Detail, verschiedene Bewegungsmodelle, Kollisionsüberprüfung, und so weiter.

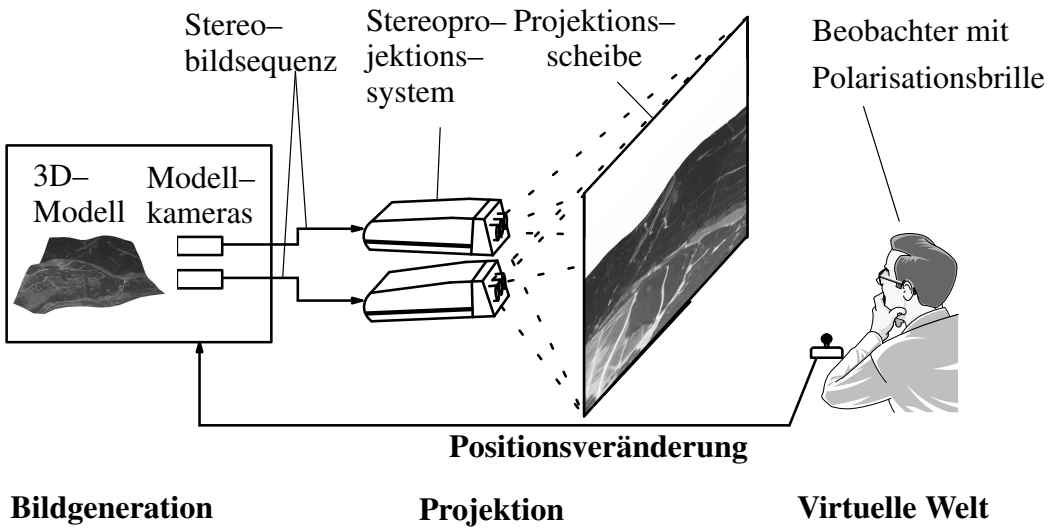


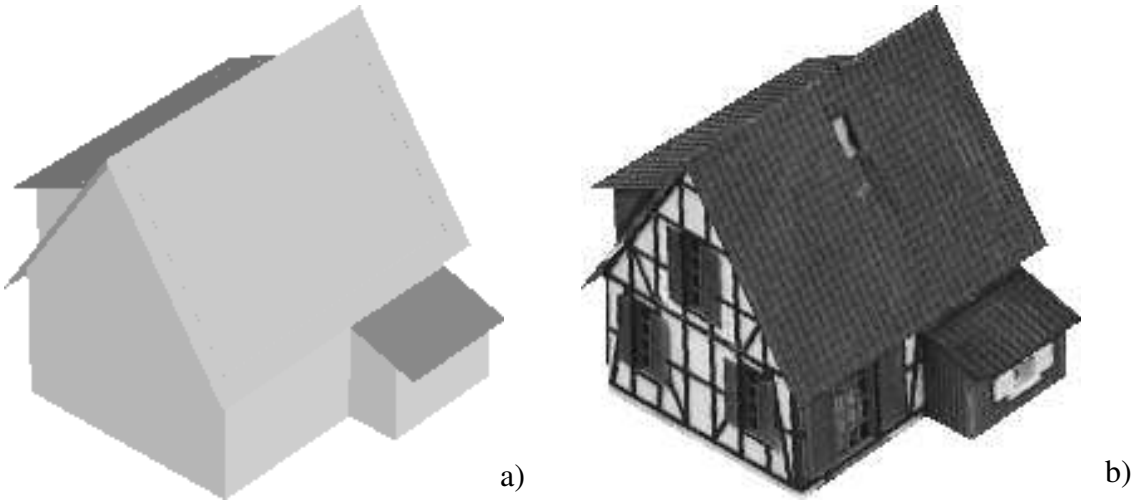
Abb 7: Stereoprojektionssystem

Um den räumlichen Eindruck der erzeugten 3D−Modelle zu untersuchen, wurde eine Stereosimulation realisiert. Als Bildgenerator dient eine Silicon Graphics (Onyx RealityEngine^2) mit einer Grafik Pipeline, die zwei Rastermanager mittels Multichannel Option im Stereomode betreibt. Um die Betrachterposition möglichst wenig einzuschränken, wird eine Rückprojektion verwendet. Zwei übereinander angeordnete, hochauflösende Projektoren (Electrohome Marquee 9000) mit Polarisationsfiltern werfen die Stereoansicht des Modells auf eine transparente Fresnelscheibe. Beim Betrachter werden durch eine Polarisationsbrille die beiden Kanäle wieder getrennt dem linken und rechten Auge zugeführt, wodurch steroskopisches Sehen ermöglicht wird und damit ein realistischer Eindruck von den räumlichen Objekten entsteht. Aufgrund der gegenüber Shutterbrillen geringen Kosten der Polarisationsbrille eignet sich dieses Stereoprojektionssystem auch für Vorführungen vor größerem Publikum. Für die Exploration der Szene stehen dem Betrachter verschiedene Bewegungsmodelle, wie Bewegung des Objektes, Fahren oder Fliegen, zur Verfügung, die er mittels 3D−Maus ansteuern kann.

6. Ergebnisse

Abbildung 8 zeigt das Modell ”Haus” in einer synthetisierten Ansicht in schattierter Flächendarstellung und mit aus den Originalbildern gewonnener Fototextur. Das Modell

wurde aus zwei Stereobildpaaren rekonstruiert. Die Interpretation verwendet ein semantisches Netz mit 41 Knoten und 64 Kanten, das eine generische Beschreibung für ein Haus enthält. Der Kontrollalgorithmus startet die Interpretation Top – Down. Die Zuordnung der Bedeutungen zu den Bildregionen wurde manuell überwacht und arbeitet beim derzeitigen Stand der Systemimplementation nicht vollautomatisch.



a) b)

Bild 8: Synthetisierte Ansicht des Modells "Haus" in a) schattierter und b) texturierter Darstellung

Aus der gewonnenen Szenenbeschreibung extrahiert die Oberflächenrekonstruktion die benötigten Daten. Verwendet werden Konturbeschreibungen der Objektteile und die Tiefenmessungen aus der Stereokorrespondenzanalyse. Alle Daten und Constraints gehen in eine globale Ausgleichsrechnung ein. Das resultierende Modell besteht aus 14 Polygonen.

Bild 9: Synthetisierte Ansicht des Landschaftsmodells mit Hausmodell (im größeren Maßstab zur Hervorhebung)

Bild 9 zeigt die synthetische Ansicht des aus einem Luftbildpaar gewonnenen Landschaftsmodells. Das Modell wurde unter Berücksichtigung der Objektsemantik modelliert: Die Straßen

werden durch separate Teilnetze repräsentiert und weisen einen kontinuierlichen Verlauf auf. An den Waldrändern wurde ein Höhensprung eingefügt. Das für die Simulation verwendete Modell des Siebertales im Harz (ca. 2x2 km^2) verwendet ca. 13000 Polygone und eine Texture Map der Größe 2048x2048.

Literatur

[1] Ackermann, F., Krzystek, P. , "MATCH–T: Automatic Mensuration of Digital Elevation Models", *Proceedings of Technical Seminar of the Sociedad Espanola de Cartografia Fotogrammetria y Teledeteccion*, pp.67–73, Barcelona, 12th April 1991.

[2] Koch, R., "3–D Surface Reconstruction from Stereoscopic Image Sequences", *ICCV'95*, Boston, June 1995.

[3] Blake, A., Zisserman, A., "Visual Reconstruction", MIT Press, 1987.

[4] McKeown, D. M., McGlone, J.C., "Integration of Photogrammetric Cues into Cartographic Feature Extraction", *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and machine Vision, SPIE–1944,* Orlando Florida, 1990.

[5] Busch, H.–J., "Ein Verfahren zur Oberflächenmodellierung dreidimensionaler Objekte aus Kamerabildfolgen", *VDI Fortschrittsberichte Informatik/Kommunikationstechnik*, Reihe 10, Nr. 209, Düsseldorf 1992.

[6] Niem, W. , "Robust and Fast Modelling of 3D Natural Objects from Multiple Views", *SPIE Proceedings "Image and Video Processing II"*, Vol. 2182, pp. 388–397, San Jose, Februar 1994.

[7] Grau, O., "Ein Szeneninterpretationssystem zur Modellierung dreidimensionaler Körper", *17. DAGM–Symposium Mustererkennung 1995*, 13.–15. Sep. 1995, Bielefeld.

[8] Liedtke, C.–E., Grau, O., Growe, S., "Use of Explicit Knowledge for the Reconstruction of 3–D Object Geometry". *6th International Conference Computer Analysis of Images and Patterns CAIP'95*. 6.–8. Sept. 1995 Prag.

[9] Grau, O., Tönjes, R., "Knowledge Based modelling of Natural Scenes", *European Workshop on Conbined Real and Synthetic Image Processing for Broadcast and Video Production*, Hamburg, Nov. 1994.

[10] Hartl, P., "Besonderheiten der Datenverarbeitung bei der SAR–Interferometrie", *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Juni 1993.

[11] Lemmens, M., "A survey on Stereo Matching Techniques", *ISPRS Conference*, Kyoto, Japan, 1988.

[12] McKeown, et al., "Rule–Based Interpretation of Aerial Imagery", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI–7, No. 5, pp. 570–585, Sept. 1985.

[13] Niemann, H., Sagerer, G., Schröder, S., Kummert, F., "ERNEST: A Semantic Network System for Pattern Understanding", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 9, pp. 883–905, Sept. 1990.

[14] Tönjes, R., "Realistic Landscape Modelling with High Level of Detail", *IEEE International Conference on Image Processing*, Austin, Texas, 13–16 November 1994.