

Ausgewählte Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2012 SS

Semi Global Matching

Studentische Ausarbeitung
von

Zlatan Dobrosavljevic



SGM Gliederung

- ❑ Motivation
- ❑ SGM Allgemeines
- ❑ Disparität
- ❑ SGM Verfahren
 - Kostenfunktion
 - Kostenaggregation
 - Probleme in strukturierter Umgebung
 - Verfeinerung des SGM
 - Bandbreite Mean Shift Segmentierung
 - Verdeckung
 - Diskontinuität bewahrende Interpolation
 - CSGM
 - Vergleich von Algorithmen
- ❑ Anwendung des SGM
- ❑ Fazit
- ❑ Lernziele



1 Motivation

- Einsatz des SGM Verfahrens
 - Korrespondenzsuche von Bildpunkten zweier stereoskopisch aufgenommener Bilder anhand von pixelweise Zuordnung
 - Hochwertige 3D Rekonstruktion von Szenen anhand von Disparitätsbild erzeugt durch Vergleich von korrespondierenden Punkten
 - Einsatz bei Bildregistrierung von Luftbildaufnahmen
 - Erzeugung von DOM
 - Fahrzeugassistentz

- Effektivstes Stereomatchingverfahren bezüglich Rechenaufwand und Lösungsqualität
- SGM ist ein Mix aus lokalem (bei der Disparitätswahl) und globalem (bei der Kostenaggregation) Stereo Matching und behebt die Nachteile beider Verfahren



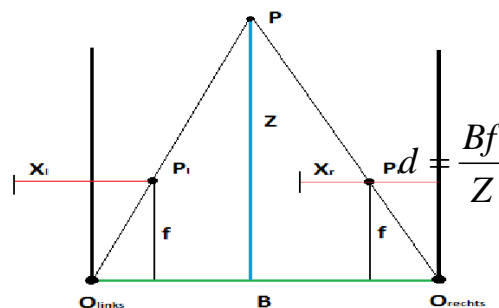
2.1 SGM Allgemeines

- Voraussetzung
 - Rektifizierung beider Kameras wurde durchgeführt
 - Epipolargeometrie ist bekannt
 - Beide Kameras sind ausreichend gut kalibriert
- Allgemeine Probleme bei Stereovision
 - Abrupte Änderungen in der Tiefe und den Diskontinuitäten [Schmid, 2011]
 - Großflächig untexturierte Gebiete
 - Radiometrische Differenzen aufgrund unterschiedlicher Kameraposition und Aufnahme
- Vorgehensweise
 - SGM summiert für jedes Pixel die Kosten entlang eines 1D-Weges aus verschiedenen Richtungen (4 oder 8)
 - Es basiert nicht nur auf direktem Vergleich von Intensitäten, sondern kann durch gegenseitige Information zwischen den Stereobildern erfolgen
 - Berechnung der Summe der Entropien (Informationsgehalt) von Bild 1 und Bild 2 abzüglich der Entropie beider Bilder gemeinsam
 - Benutzung der Transinformation als Ähnlichkeitskriterium
 - Maß für statistischen Zusammenhang zweier Bilder



2.2 Disparität (1)

- Disparität
 - Disparitätsbild entspricht einem Tiefenbild : Je höher die Disparität desto näher befindet sich das Objekt an der Kamera
 - Disparität d = Differenz der x-Koordinaten zwischen linken Bild und rechtem Bild (rektifizierte Kameras !)
 - B = Basis zwischen den Stereokameras f = fokale Länge
 - Z = orthogonaler Abstand Punkt P zur Basis B



2.2 Disparität (2)

- Kodierung des Disparitätsbildes mit Grauwerten
 - Weiß bedeutet sehr nahe Objekte, je dunkler die Grauwerte desto weiter sind die Objekte von der Kamera entfernt
 - Schwarz bedeutet jedoch nicht, dass das Objekt am weitesten entfernt liegt. Es steht für die fehlenden Korrespondenzen (unabhängig von der Disparität)



original



Disparitätsbild

[Hirschmüller, 2005]



Disparität (3)

- Die beiden Bilder zeigen die selbe Szene aufgenommen mit einer Kamera links und rechts
- Im rechten Stereobild ist die Verschiebung eines korrespondierenden Bildpunktes gegenüber dem linken Stereobild durch den kurzen schwarzen Strich nahe dem Fluchtpunkt dargestellt
- Dieser entspricht einem gewissen Disparitätswert an der Stelle
- Für näher liegende Objektpunkte würde die Disparität steigen und der schwarze Balken wäre länger (Z wird klein, d wird groß siehe Abbildung Folie 5)



Stereobild links



Stereobild rechts

[Hirschmüller, 2005]

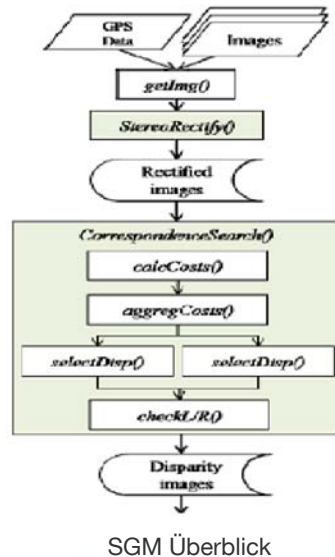


2.3 lokale, globale Verfahren

- Kostenfunktionen
 - Quadratische Intensitäts- Differenz (lokales Verfahren)
 - Birchfield Tomasi Methode
 - Mutual Information (SGM)
- Kostenaggregation
 - Globale Energie Minimierung (globales Verfahren, SGM)
 - Fenster basierte Methoden/Summe der absoluten Differenzen (lokales Verfahren)
- Disparitätswahl
 - Fenster basierte Methoden/ Winner take all (lokale Methode) $D(p) = \operatorname{argmin} S(p,d)$ mit S = Aggregierter Kosten
 - Dynamische Programmierung (globale Methode, SGM)
- Rechts/links Konsistenz-Prüfung (Subpixel-Algorithmus)



3 SGM Verfahren (1)



3 SGM Verfahren (2)

□ SGM Verfahren in 4 Stufen

1) Kostenermittlung

- Berechnung der Matchingkostenfunktion im Subpixelalgorithmus
- z.B. Verwendung einer 2D Gaus-Funktion als Subpixelalgorithmus:
- $A + B * e^{\frac{-(x-u)^2 + (y-v)^2}{2\sigma^2}}$ mit x,y Position im Bild, u,v Objektzentrum, A Intensität des Hintergrundes/dunkle Region, B Intensität des Objektpunktes/helle Region
- Die Kostenfunktion wird für einen Pixelblock der linken und rechten Fenstergrenze berechnet
- Die Kostenfunktion wird für alle Disparitäten zwischen einem gegebenen Minimum und Maximum der Disparität berechnet
- Kleine Kosten geben an, dass die Wahrscheinlichkeit für die beste Matchingsequenz groß ist



3 SGM Verfahren (3)



2) Kostenaggregation

- Dient dem Auffinden richtiger Korrespondenzen und dem Glätten falscher Korrespondenzen
- Alle Kosten der Nachbapixel werden verbunden
- Berechnung erfolgt in alle Richtungen vom untersuchten Bildpixel aus
- Suche nach Pixel mit kleinsten Disparitätswert (lokale Methode)
- Berechnung der Kosten durch globale Energiefunktion
- Summe aller Matchingkosten einer bestimmten Disparität
- Matching erfolgt durch Minimierung der Energiefunktion

3) Disparitätsermittlung

- Durch minimierte Pfadkosten jedes Pixels

4) Disparitätsverfeinerung

- Interpolation



3.1 Kostenfunktion (1)



Pixelweise Kostenkalkulation

- Berechnung der Matching Kosten eines Basispixels p aus seiner Intensität I_{bp} und seiner vermuteten Korrespondenzintensität I_{mq} , wobei das zu p korrespondierende Pixel q auf der Epipolarlinie zwischen beiden Bildern e_{bm} (p, d) = [$p_x - d$, p_y] liegt
 - Gilt für rektifizierte Bilder
 - Mit d = Disparität
- Je größer das zu matchende Gebiet ist, desto weniger robust ist der Matching-Algorithmus
- Die Annahme einer konstanten Disparität in einem Aufnahmegebiet ist falsch. Aufgrund von Diskontinuitäten an Objekten (abruptes Ende eines Objekts) kommt es zu Unschärfen an Objektgrenzen. Langsame und kontinuierliche Änderung der Disparität hingegen kann vor allem bei runden Objekten (Kegel) erfolgen
 - nur die Basisbild Intensität I_{bp} und ihre Korrespondenz Intensität I_{mq} wird für die Kostenberechnung verwendet
- Die Kostenfunktion $C_{BT}(p, d)$ entspricht der absoluten minimalen Differenz der Intensitäten von p und q im Abstand von einem halben Pixel in jeder Richtung entlang der Epipolarlinie $e_{bm}(p, d)$



3.1 Kostenfunktion (2)

- Mutual Information/Transinformation (wechselseitige Information)
 - Alternative Berechnung der Kostenfunktion
 - Unabhängig von Intensitätsänderungen
 - Berechnung über die Entropie der beiden einzelnen Bildern und über die gemeinsame Entropie
 - Entropie beschreibt den mittleren Informationsgehalt eines Bildes und kann als Maß für die Unordnung eines Bildes gesehen werden
 - Die Bilder stimmen am besten überein wenn sowohl die gemeinsame Entropie als auch die Entropie beider Bilder gegen 0 sinkt
 - Entropie ist dann am größten, wenn alle Intensitätswerte gleich wahrscheinlich sind
 - Entropie besitzt den Wert 0, wenn im Bild nur ein Intensitätswert vorkommt
 - Die Entropie wird aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung P der Intensitäten ermittelt

$$H_{I_1} = - \int P_I(i) \log_2 P_I(i) di$$

$$H_{I_1, I_2} = - \int \int P_{I_1, I_2}(i_1, i_2) \log_2 P_{I_1, I_2}(i_1, i_2) di_1 di_2$$



3.1 Kostenfunktion (3)

- Für gut registrierte Bilder ist die gemeinsame Entropie H_{I_1, I_2} niedrig
 - Die Übereinstimmung/Korrespondenz daher hoch
 - Das eine Bild kann durch das andere vorhergesagt werden
 - Das einzelne Bild beinhaltet allein wenig Information
 - Gegenseitige Information steigt an, wenn die Entropie sinkt



Kostenfunktion mit Intensitäten



Kostenfunktion mit MI



original

[Hirschmüller, 2006]



3.1 Kostenfunktion (4)

- Damit die korrespondierenden Pixel beider Bilder sich an der selben Position befinden muss ein Bild in Abhängigkeit vom Disparitätsbild verzerrt werden
 - Das Disparitätsbild für die Verzerrung eines Bildes wird bereits vor der Berechnung der gegenseitige Information benötigt
 - Daher Iterative Lösung
 - Man startet mit einem beliebigem Disparitätsbild und errechnet die Kosten C_{MI}
 - Dieser Kosten wird sowohl für das matching beider Bilder als auch für die Berechnung eines neuen Disparitätsbildes für die nächste Iteration verwendet
 - Disparitätsbilder werden bei verschiedenen immer niedriger werdenden Auflösungen ermittelt
- Einsparungen von Rechenlaufzeit



3.1 Kostenfunktion (5)

- Bei 3 Iterationen und Halbierung der Auflösung pro Iteration
 - Komplexität des Algorithmus \cong Breite x Höhe x Disparitätsabstand
 - $2^3=8$ Faktor um der die Rechenzeit bei halber Auflösung verkürzt ist gegenüber ganzer Auflösung
 - wegen der Anzahl der Parameter Breite, Höhe und Disparitätsabstand ist die Potenz 3
 - Laufzeit der hierarchisch berechneten Kosten C_{MI}
 - $1+1/2^3+1/4^3+1/8^3+3 \times 1/2^3=1.52$ wenn man bei halber Resolution startet
 - C_{MI} ist dann 1.52 mal langsamer als die Kostenermittlung über Intensitäten C_{BT}
 - Bei ganz kleinen Anfangsresolution besitzt C_{MI} ähnliche Laufzeiten wie C_{BT}
 - Starten bei einer Resolution von $1/16$ $1+1/2^3+1/4^3+1/8^3+3 \times 1/16^3=1.14$ hier ist C_{MI} nur 14% langsamer als C_{BT}
 - Bei der Iterativen Vorgehensweise startet man bei geringer Auflösung und endet bei der vollständigen Auflösungen (es wird daher immer die nächst bessere Auflösung iteriert)



3.2 Kostenaggregation (1)

□ 2. Kostenaggregation

- Globale Energie soll minimal werden

$$E(D) = \sum_p (C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| \geq 1])$$

- Mit $C(p, D_p)$ pixelweise matching Kostenfunktion für alle Pixel p mit ihren Disparitäten D_p
- Als Kostenfunktion wird mutual information (wechselseitige Information verwendet)
- In der zweiten Summe wird ein Strafterm auf die kleinen Disparitätsdifferenzen der benachbarten Pixel N_p mit den Kosten P_1 auferlegt
- Die Funktion T gibt den Wert 1 heraus wenn das Argument wahr ist, ansonsten 0
- In der dritten Summe wird ein noch größerer Strafterm für große Disparitätssprünge (Diskontinuitäten) mit den Kosten P_2 auferlegt



3.2 Kostenaggregation (2)

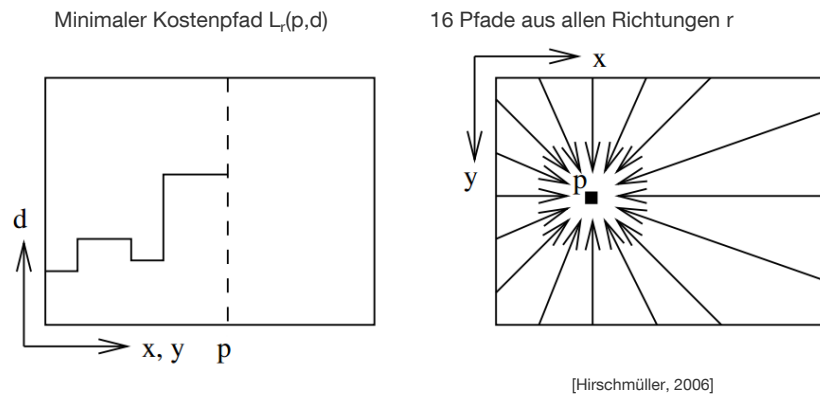
- P_2 wird an den lokalen Intensitätsgradienten angepasst
- P_2 ist unabhängig von der Größe des Disparitätsschritts
- Diskontinuitäten sind sichtbar durch Intensitätsänderungen
- Reduktion des Strafterms P_2 wenn sich Intensitäten unterscheiden

$$P_2 = \frac{P'_2}{|I_{bp} - I_{bq}|} \quad P_2 \geq P_1$$

- Es soll das Disparitätsbild gefunden werden, dass die Energie $E(D)$ minimiert
- Durch dynamische Programmierung wird entlang eines 1D-Pfads (Bildzeilen) die Energiefunktion minimiert
 - Beim zeilenweise Vorgehen werden viele starke Einschränkungen in einer Richtung mit schwachen Einschränkungen kombiniert
 - Um alle zu Berücksichtigen werden 1D-Kosten aus allen Richtungen gleich berücksichtigt
 - Der geglättete Kosten $S(p,d)$ wird durch Summieren aller minimalen 1D-Kosten Pfade ermittelt



3.2 Kostenaggregation (3)



3.2 Kostenaggregation (4)

$$L_r(p, d) = C(p, d) + \min(L_r(p - r, d), L_r(p - r, d), \\ L_r(p - r, d - 1) + P_1, L_r(p - r, d + 1) + P_1, \\ \min_i L_r(p - r, i) + P_2) - \min_k L_r(p - r, k)$$

- r (Anzahl der akkumulierten Wege in der Regel 8 oder 16)
- L_r (Kosten Wege in Richtung des aktuellen Pixels)
- $C(p,d)$ (pixelweise Matching Kosten)
- Der erste Term ist der pixelweise matching Kosten des aktuellen Pixel
- Der zweite Term fügt das Minimum der Kosten am vorherigen Pixel des Weges inklusive Strafterm P_1
- P_1 wird an die Kosten der nächst höheren oder tieferen Disparität hinzugefügt
- Bei gleicher Disparität wird kein Strafterm hinzugefügt
- P_2 wird hinzugefügt, wenn ein Kosten an einer anderen Disparität minimal ist
- Es werden also Kosten entlang der Wege aus allen Richtungen aufsummiert

3.2 Kostenaggregation (5)



- Für jedes Pixel p wird die Disparität d ausgewählt, die mit dem minimalen Kosten korrespondiert
- Bei subpixelgenauer Abschätzung wird eine quadratische Polynomkurve durch die Nachbarkosten angepasst, anschließend wird die Position des Minimums ermittelt
- Ergebnis: Disparitätsbild D_b das zum Basisbild korrespondiert I_b
- Das Disparitätsbild D_m welches zum Matchbild I_m korrespondiert kann durch die gleiche Kostensumme ermittelt werden
- Mit einer Konsistenzkontrolle werden die beiden Disparitäten D_b und D_m verglichen



3.3 Probleme in strukturierter Umgebung (1)



- SGM im untexturierten Gebiet
 - Objekte im Vordergrund erscheinen im Disparitätsbild mit dem untexturierten Hintergrund zu verschwimmen
 - Bei texturiertem Hintergrund erscheinen die Objektgrenzen richtig
 - Diese Problematik tritt zwar weniger in Luftbildern auf, umso mehr bei Raumaufnahmen da dort aufgrund der höheren Auflösung mehr untexturierter Hintergrund existiert
 - Untexturierte Gebiete werden durch den Glättungsterm interpoliert, durch Nutzung der Nachbarschaft besser texturierter Gebiete
 - Disparitätsänderungen werden nur dann akzeptiert, wenn die Summe der pixelweise Matchingkosten an einer anderen Disparität d_i und der Strafterm P kleiner sind als die Kosten $C(p,d)$
 - Änderung der Kosten der Nachbapixel werden durch Textur hervorgerufen



3.3 Probleme in strukturierter Umgebung (2)

- Ist ein Vordergrundobjekt vor einem teilweise untexturierten Hintergrund wird der Disparitätswechsel an der Grenze der untexturierten Fläche bevorzugt
- Der Schritt vom Vordergrund zur Hintergrund Disparität kann überall im untexturierten Gebiet platziert werden, ohne die globale Energie zu ändern
- Der Strafterm P_2 wird an Intensitätsänderungen angepasst, damit Disparitätsänderungen innerhalb untexturierten Gebieten mehr Kosten haben
- Die Platzierung des Disparitätsschrittes hängt hauptsächlich vom Rauschen ab
- Nur mit kleinen kompakten untexturierten Gebieten kann der Kosten aus allen Richtungen ermittelt werden
- Fehlplatzierte Objektgrenzen entstehen aufgrund der Tatsache das SGM die Kosten entlang geraden Wegen fortpflanzt



3.4 Verfeinerung des SGM (1)

- Erfolgreicher Einsatz von SGM auf Bilder mit strukturierter Umgebung erfordert
 - Lösung der Probleme bei teilweise untexturierten Hintergrund
 - Lösung von ungültigen Disparitäten durch Interpolation
 - Lösungsweg darf Komplexität des SGM nicht übersteigen, da die effiziente Vorgehensweise den Hauptvorteil des SGM darstellt
- Auswahl Intensität konsistenter Disparität
 - Lösung zur Vermeidung des „blurring“ zwischen Vordergrundobjekt und untexturierten Gebiet
 - Dient zur Vermeidung der Verwischung von Objektgrenzen an untexturierten Regionen



Mit Intensitäts konsistenter Disparität generiertes Bild



3.4 Verfeinerung des SGM (2)

□ 3 wichtige Annahmen

- 1) Diskontinuitäten im Disparitätsbild treten nicht in untexturierten Gebieten auf
- 2) Auf gleicher Oberfläche wie das untexturierte Gebiet kann Textur gesehen werden
- 3) Die Oberfläche eines untexturierten Gebietes kann durch eine Ebene approximiert werden



Blurring Effekte [Hirschmüller, 2006]



3.4 Verfeinerung des SGM (3)

- Die erste Annahme ist richtig, da Tiefendiskontinuität visuelle Änderung der Intensität hervorruft, sonst wären die Diskontinuitäten unauffindbar
- Die zweite Annahme besagt, dass es zumindest einige Punkte in einem untexturierten Gebiet gibt, für welche die Disparität ermittelt werden kann. In einem absolut untexturierten Gebiet wäre die Disparitätssuche nicht möglich. Man geht also von quasi untexturierten Flächen aus
- Die Disparität einer vollständig untexturierten Hintergrundoberfläche ist unauffindbar
- Die dritte Annahme besagt, dass die Identifizierung untexturierter Gebiete als Gebiete konstanter Intensität kleine Teilflächen ergibt, die als eben betrachtet werden können
- Untexturierte Oberflächen mit ändernden Distanz, ändern auch ihre Intensität
- Stückweise konstante Intensität, wird als stückweise eben behandelt



3.4.1 Bandwidth Mean Shift Segmentierung (1)

- Identifizierung untexturierter Gebiete durch die „Bandbreite Mean Shift Segmentierung“ auf dem Intensitätsbild I_B
 - Radiometrische Bandbreite wird auf dem Strafterm P_1 gesetzt
 - Intensitätsänderungen kleiner als der Glättungsterm werden als Rauschen behandelt
 - Die räumliche Bandbreite wird klein gesetzt, damit die Prozessierung schnell abläuft
 - Alle Segmente die kleiner sind als ein gewisser Schwellwert (z.B. <100 Pixel) werden ignoriert, da kleine untexturierte Gebiete von SGM gut behandelt werden
 - Die Fortpflanzung der Disparitäten von texturierten Gebieten in untexturierten Gebieten ist eine wichtige Eigenschaft des SGM
 - Die Annahme dass, einige benachbarte texturierte Gebiete sich auf der selben Oberfläche befinden
 - Innerhalb jeder einzelnen Segmente S_i gibt es einige Disparitäten die richtig sind



3.4.1 Bandwidth Mean Shift Segmentierung (2)

- Der Strafterm P_2 wird benutzt, da dieser unabhängig von der Größe der Disparitätsänderung ist. Dieser bevorzugt plötzliche Disparitätsänderungen mehr als leichte Disparitätsänderungen
- Einige Hypothesen für die korrekte Disparität des Segments S_i können ermittelt werden durch Segmentierung der Disparität innerhalb jedes Segments S_i
 - Schnelle und einfache Segmentierung, durch Verbindung von äquivalenten Nachbarpixel (äquivalente Pixel unterscheiden sich in höchstens einer Disparität)
 - Resultat: einige Segmente S_{ik} für jedes Segment S_i
- Berechnung der Oberflächenhypothesen F_{ik} durch Auswahl der best anpassenden Ebenen durch die Disparitäten von S_{ik}
- Kleine Segmente werden ignoriert, da es unwahrscheinlich ist, dass diese der korrekten Hypothese angehören



3.4.1 Bandwidth Mean Shift Segmentierung (3)

- Alle Disparitäten innerhalb des Segments S_i werden durch die Oberflächenhypothese und die Kostenfunktion die alle Pixel in S_i berechnet ersetzt
- Die pixelweise Matching Kostenfunktion behandelt keine Verdeckungen
- Für jedes Segment S_i mit konstanter Intensität wird die Oberflächenhypothese mit den minimalen Kosten ausgewählt
- Aufwand
 - Identifizierung untexturierter Gebiete durch die „Bandwidth Mean Shift Segmentierung“ auf dem Intensitätsbild I_B
 - Die Komplexität der Bandwidth Mean Shift Segmentierung des Intensitätsbildes, sowie die einfache Segmentierung des Disparitätsbildes ist abhängig von der Anzahl der Pixel
 - Um die bestanpassende Fläche zu finden müssen alle segmentierten Pixel untersucht werden
 - Um alle Hypothesen zu testen müssen alle Pixel von allen Segmenten von allen Hypothesen untersucht werden



3.4.1 Bandwidth Mean Shift Segmentierung (4)

- Um den Bedeckungsgrad zu testen muss man durch die meisten Disparitäten eines Pixels gehen
 - Der Aufwand hängt also vom Anzahl der Hypothesen, Segmente und Disparitäten ab
 - Für einen kleinen Bildabschnitt ergibt sich meist nur eine Hypothese



Original



Disparitätsbild



segmentierte Disparitäten

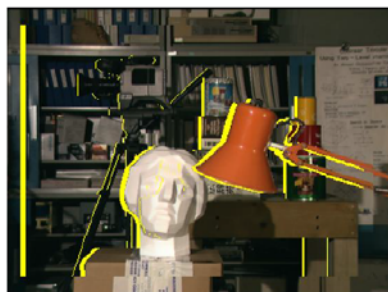
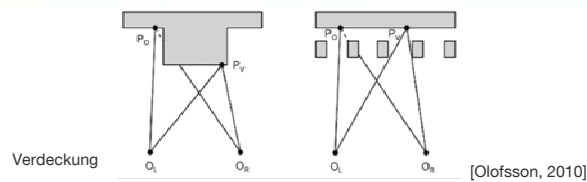


3.4.2 Verdeckung (1)

- Verdeckung eines Pixels
 - Ein Pixel p ist bedeckt, wenn ein anderer Pixel mit höherer Disparität auf der Stelle des korrespondierenden Pixels q im Matching Bild gesetzt wird
 - Zuerst wird p in das Matching Bild durch den Pixel q gesetzt
 - Es folgt die Epipolarlinie von q im Basisbild $e_{mb}(q,d)$ wobei Disparität $d > \text{Disparität } D_p$
 - Pixel p_1 ist verdeckt wenn sich die Epipolarlinie mit der Disparitätsoberfläche D_p nicht schneidet
 - Die Epipolarlinie des falsch gematchten Pixel p_2 schneidet die Disparitätsoberfläche D_p



3.4.2 Verdeckung (2)



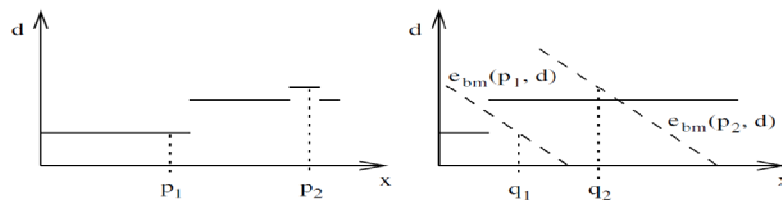
gelbe Stellen im linken Stereobild sind verdeckt in der rechten Kamera
gelbe Stellen im rechten Stereobild sind verdeckt in der linken Kamera

[Olofsson, 2010]



3.4.2 Verdeckung (3)

- Links/Rechts Konsistenz Prüfung macht Disparitäten ungültig wegen der Verdeckung
- Um ungültige Disparitäten zu interpolieren müssen Verdeckung und Fehl-Matching unterschiedlich behandelt werden
- Verdeckungen dürfen nicht vom Verdeckter interpoliert werden, sondern vom Verdeckten, um fehlerhaftes Glätten der Diskontinuitäten zu vermeiden
- Durch die Links/Rechts Konsistenz Prüfung können Fehl-Matching und Verdeckung unterschieden werden



Verdeckung und Epipolarlinien [Hirschmüller, 2005]



3.4.3 Diskontinuität bewahrende Interpolation

- Um das Interpolieren zu erleichtern werden falsch gematchte Pixelgebiete, welche direkte Nachbar von verdeckten Pixel sind, ebenfalls als verdeckt behandelt
- Die Interpolation wird durch das Fortpflanzen von gültigen Disparitäten durch die benachbarten ungültigen Disparitäten abgeschlossen
- Die Interpolation erfolgt aus allen 8 Richtungen, für jedes ungültige Pixel werden alle 8 Werte gespeichert
- Das endgültige Disparitätsbild D' wird erzeugt durch:
 - 1) seclow: falls p verdeckt ist und sichert, dass Verdeckungen vom niedrigen Hintergrund interpoliert werden, indem der zweitkleinste Wert ausgewählt wird
 - 2) median: um Diskontinuitäten zu behalten falls das falsch gematchte Gebiet eine Objektgrenze ist
- Interpolationsmethode ist unabhängig von der genutzten Stereo Matching Methode
- Benötigt werden nur bekannte Epipolargeometrie und die Berechnung der Disparität für Basis und Matchingbild



3.4.4 CSGM

- CSGM (consistent SGM)
 - Verfeinerung des SGM vor allem in strukturierter Umgebung
 - CSGM produziert genaueres Matching als SGM und bildet scharfe Objektkanten auch in untexturierten Gebieten ab
 - Es werden Disparitätsbilder mit dem korrespondierenden Ground Truth einzeln verglichen. Dies geschieht im nicht verdeckten Gebieten in der Nähe von Diskontinuitäten
 - Setzt man die maximalen Disparitätsunterschiede in den Subpixelbereich z.B. 0.5, so kann CSGM die Disparität am besten einschätzen im Vergleich zu den anderen Algorithmen
 - Auch die Ausführungszeit ist bei SGM am schnellsten
 - Grenzen des Verfahrens: da keine visuelle Änderung zwischen Poster und der Säule, wurde ein Teil des Posters fälschlicherweise mit der gleichen Tiefe bewertet wie die Wand (Kreis)



original

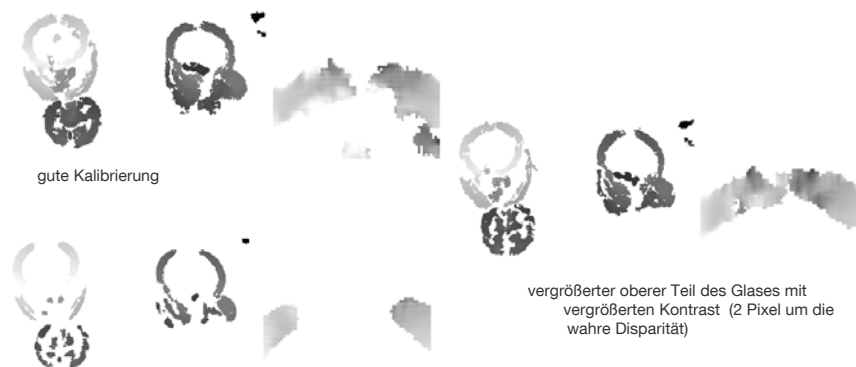


CSGM

[Hirschmüller, 2006]



4 Anwendungen des SGM - Dienst Roboter (3)



gute Kalibrierung

Fehl Kalibrierung um 0.25 Pixel

vergrößerter oberer Teil des Glases mit vergrößerten Kontrast (2 Pixel um die wahre Disparität)

[Hirschmüller, Gehrig, 2009]

Weiß entspricht den ungültigen Disparitäten!



4 Anwendung des SGM - Fahrzeugassistentenz

- Fahrzeugassistentenz
 - Fahrzeug beladen mit einer Stereokamera, filmt die Szene in Fahrtrichtung
 - Echtzeit Berechnung der Tiefenbilder mit SGM
 - Liefert bessere Resultate als korrelationsbasierte Stereo-Matching Verfahren d.h mehr Tiefenwerte
 - Weniger Fehler in Gebieten mit niedrigen Kontrast
 - Robust gegenüber sich wiederholenden Strukturen (Bild 7: Pfosten auf der Bahnbrücke)

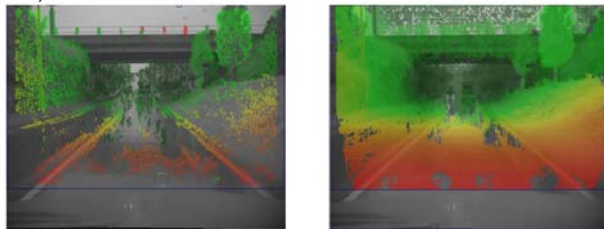


Bild 30 Vergleich von Stereo Korrelation (links) und SGM (rechts)

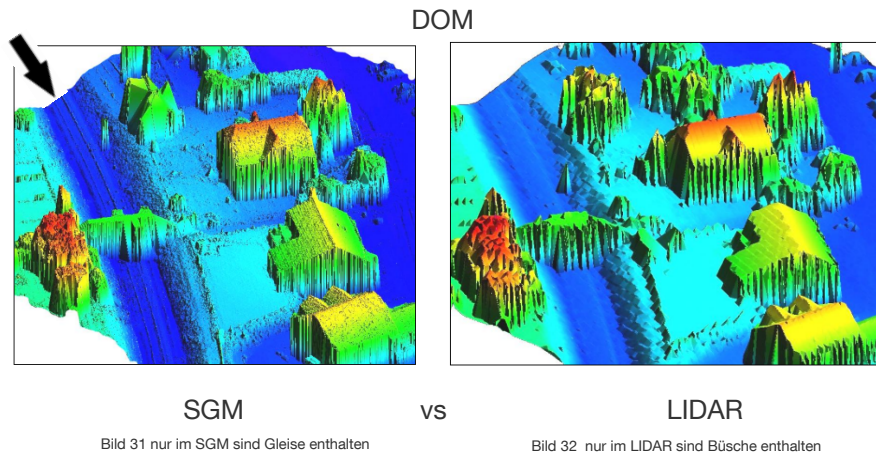
[Gehrig, 2011]



4 Anwendung des SGM – LIDAR vs SGM DOM (1)

- LIDAR basierte DOM und SGM basierte DOM
 - Vorteile von LIDAR
 - aktiver Sensor
 - Unabhängig von Beleuchtung (Nachts einsetzbar)
 - Durchdringt Baumkronen, allgemeiner Vorteil bei Vegetation
 - Enthält Intensitätsinformationen von Last-Pulse
 - vertikale Genauigkeit (5 cm) höher als horizontale (10-15 cm)
 - Schnelle Prozessierungszeit 1 Million Pixel/sec
 - Vorteile von SGM
 - SGM generiert DOM pixelweise, die gewünschte Auflösung für die Orthorektifizierung wird von Haus aus geliefert
 - Bildbasiertes Verfahren d.h Bildaufnahme und DOM besitzen die selbe Aufnahmezeit, weniger Ungenauigkeiten und Rauschen aufgrund zeitlicher Änderungen
 - SGM behält scharfe Kanten bei
 - Nachteil von LIDAR und SGM
 - LIDAR: Fehler bei seichten Wasser, wegen Durchdringung und Reflexion
 - SGM: Wegen Glättungseinschränkung und Minimierung von Disparitäten wird Wasser überbrückt, da Wasseroberfläche glatt ist





[Gehrke et.al., 2010]



5 Zusammenfassung

- ❑ Dynamische Programmierung um lokale Transformationen anzuwenden
- ❑ Der SGM Algorithmus ist trotz der guten Ergebnisse schneller als die meisten anderen matching Algorithmen
- ❑ Komplexität des SGM entspricht: Anzahl der Pixel x Disparität
- ❑ 600 nanosec pro Pixel pro Disparität erlaubt Echtzeitanwendung
- ❑ Anwendung zur voll automatischen Rekonstruktion von großen urbanen Gebieten
- ❑ Arbeitet unabhängig von radiometrischen Differenzen zweier Stereobilder, da es mit mutual Information matching Kosten ermittelt
- ❑ Fast so genau wie globale matching Verfahren
- ❑ Bessere Zuordnung als lokale matching Verfahren



- ❑ Arand S (2010) Genauigkeitsuntersuchung von digitalen Oberflächenmodellen aus Bildzuordnungsverfahren in Stadtgebieten. Bachelor Thesis, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Leibniz Universität Hannover
- ❑ Birchfield S, Tomasi C (1997) Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo. Stanford CA, International Journal of Computer Vision 35(3): 269-293 (1999)
- ❑ Föll G (2011) Entwicklung einer robusten Methode zur Berechnung von Stereokorrespondenzen. Seminar, Fakultät Technik und Informatik, Department Informatik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
- ❑ Gehrke S , Morin K , Downey M , Boehrer N , Fuchs T, (2012) Semi-Global Matching: an alternative to LIDAR for DSM generation? Melbourne Australia, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume 39: 17-22 (2012)
- ❑ Hintzmann M , Richardt J (2010) Anwendung des SGM-Algorithmus zur Bestimmung der Höhenprofile von Körpern mit Stereo-Vision
- ❑ Hirschmüller H (2006) Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)



- ❑ Hirschmüller H (2006) Stereo vision in structured environments by consistent semi-global matching. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2): 2386–2393
- ❑ Hirschmüller H (2011) Semi Global Matching Motivation, Developments and Applications. Photogrammetric Week (53): 173-181
- ❑ Hirschmüller H (2009) Stereo Matching in the Presence of Sub-Pixel Calibration Errors In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
- ❑ Olofsson A (2010) Modern Stereo Correspondence Algorithms: Investigation and evaluation. Master Thesis, Department of electrical engineering, Linköpings Universitet
- ❑ Schmid P (2011) Stereorekonstruktion mit Anwendung auf die Konstruktion eines Verbundes von Stereokameras. Masterarbeit, Labor für Medizinische Informatik, Fachhochschule Aachen



6 Lernziele



- ❑ Ein allgemeines Verständnis über Zweck und Ziele des Semi Global Matching soll vermittelt werden
- ❑ Vorteile gegenüber anderen Verfahren zur Bildregistrierung sollen genannt werden können
- ❑ Es soll der Zweck und die Funktionsweise von Disparitätsbildern verstanden werden
- ❑ Der Ablauf des SGM- Verfahrens soll in den wesentlichen Einzelschritten nachvollziehbar sein
- ❑ Der Unterschied von Verdeckung und Fehl-Matching beim SGM soll verstanden worden sein
- ❑ Man sollte mindestens 3 bevorzugte Einsätze von SGM nennen

