Anwendung der Fuzzy-Fusionsoperatoren zur Unterdrückung von Reflektionen bei der Verarbeitung von Farbbildern

J. Zhou, A. Soria-Frisch, B. Nickloay

Fraunhofer IPK, Dept. Pattern Recognition

{jing, aureli, nickloay}@ipk.fhg.de

21. Juni 2001

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden verschiedene Fuzzy-Fusionsoperatoren zur Unterdrückung von Reflektionen in der Farbbildverarbeitung vorgestellt. Die hier verwendeten Fuzzy-Operatoren, OWA(ordered weighted averaging), W_{min}(weighted min), W_{max}(weighted max) und Choqeut-Fuzzy-Integral sind sehr interessante Fusionsoperatoren die auf der Theorie von Fuzzy-Maß und Fuzzy-Integral beruhen. In dieser Arbeit wird gezeigt werden, daß diese Operatoren erfolgversprechend zur Unterdrückung von Reflektionen in Farbbildern eingesetzt werden können. $ILFOs$(Intelligent Local Fusion Operators) ermöglichen eine gneauere Spezialisierung auf das Problem, da sie sich adaptiv an bestimmte Bildinhalte anpassen lassen. Mit ihrer Hilfe ist es möglich die Ergebnisse noch weiter zu verbessern.

1 Einleitung

Bei den hier verwendeten Eingangsdaten handelt es sich um Daten aus einem multisensoiellem System. Genauer gasagt um deckungsgleiche Bilder des selben Bildausschnitts. Jedoch enthält jedes Bild unterschiedliche Helligkeits- und Farb-Informationen. In diesem Fall sind vor allem die Überbelichtungen von Interesse, die in jedem Bild an unterschiedlichen Stellen auftreten. Ziel dieser Arbeit ist es nun die Bilder so zusammenzufassen, daß im Ergebnis keine Reflektionen auftreten, die die weitere Verarbeitung stören könnten. Zur Fusion der Eingangsdaten werden in dieser Arbeit Operatoren der Fuzzy-Logik benutzt. Aufgrund ihrer Vielfalt und Mächtigkeit scheinen sie ein erfolgversprechender Ansatz zu sein. Bei den Operatoren OWA, W_{min} und W_{max} handelt es sich um reine Rangordnungsoperatoren, d.h. die Kanäle werden unabhängig von ihrem Index nur abhängig von ihrem Rang gewichtet. Beim $Choquet - Fuzzy - Integral - Operator$ spielt nicht nur der Rang der Eingangsbilder eine sehr große Rolle, sondern auch ihre Reihenfolge entsprechend der Indexe der Eingangkanäle. $ILFOs$ lokalisieren die Anwendungsgebiete der Operatoren. Durch ein Maskenbild kann festgelegt werden, in welchem Bereich welche Operatoren mit welchen Gewichten zur Fusion eingesetzt werden sollen. In den folgendem Kapitel werden die Fusionsoperatoren und einige Aspekte der Fuzzy-Logik beschrieben. Im 4 Abschnitt werden Ergebnisse für die einzelnen Operatoren vorgestellt um deren Eignung für die vorliegende Aufgabe zu zeigen. Im letztem Abschitt erfolgt ein Ausblick auf weitere geplante Arbeiten.

2 Fuzzy-Fusionsoperatoren und Algorithmen

2.1 Fuzzy-Logik

Fuzzy-Logik ist als eine Verallgemeinerung der klassische Mengenlehre schon im vielen Bereichen erfolgreich eingesetzt worden. Die Eigenschaten der klassischen Mengen, Mengen-Operationen und Relationen gelten auch für die Fuzzy-Logik.

- Fuzzy-Mengen enthalten nicht nur Elemente sondern auch für jedes Element eine Zugehörigkeitswert, der angibt wie sehr das Element zu der Menge gehört:

$$A = \{(x, \mu_A(x))|x \in X\} \tag{1}$$

- Genau wie in der klassischen Mengenlehre gibt es auch in der Fuzzy-Logik mengentheoretische Operationen, einige Beispiele sind:

  1. Durchschnitt (min)

  $$\mu_{A\cap B}(x) = min(\mu_A(x), \mu_B(x))\forall x \in X \tag{2}$$

  2. Vereinigung (max)

  $$\mu_{A\cap B}(x) = max(\mu_A(x), \mu_B(x))\forall x \in X \tag{3}$$

  3. Komplement (neg)

  $$\overline{\mu}_A(x) = 1 - \mu_A(x)\forall x \in X \tag{4}$$

- Ebenso sind genau wie in der klassichen Mengenlehre Relationen zwischen Mengen definiert. Fuzzy-Relation:

$$\mu_R : X \times Y \to [0, 1] \tag{5}$$

2.2 Fuzzy Bildverarbeitung

Unter Fuzzy-Bildverarbeitung werden alle Ansätze in der digitalen Farbbildverarbeitung verstanden, bei denen die Bilder bzw. deren Segmente oder Merkmale, die diese Bilder bzw. Segmente besitzen, als Fuzzy-Mengen verstanden, dargestellt und verarbeitet werden. Fuzzy-System bestehen aus Fuzzy-Logik, Bildfuzzyfizierung und Fuzzy-Geometrie. Nachdem das Bild fuzzyfiziert ist, wird innerhalb des Fuzzy-Systems nur noch mit den Zugehörigkeiten weitergerechnet. Das Bild oder das Merkmal sind nun Fuzzy-Mengen, auf die alle Operationen der Fuzzy-Mengenlehre angewendet werden können. Die Fuzzy-Bildverarbeitung läuft generell in drei Stufen ab:

1. Fuzzyfizierung,
2. Operationen auf den Zugehörigkeiten und
3. Defuzzyfizierung.

Im folgendem wird eine Histogramm-Fuzzyfizierung der Eingangsdaten verwendet, d.h. jedem einzelnem Bildpunkt wird abhängig von seinem Grauwert eine Zugehörigkeit zugewiesen. So sind die Elemente der Fuzzy-Menge keine Skalare sondern zweidimensionale Vektoren, die die Koordinate des Bildpunktes beschreiben.

2.3 Gewichtete Rangordnungsoperatoren

Ein Rangordnungsoperator in seiner allgemeinsten Form ist eine Funktion der nach ihrem Rang geordneten Eingangsdaten $x_1...x_n$, wobei $x(1)...x(n)$ die nach Größe geordneten Eingangsdaten $x_1...x_n$ sind. Die einfachsten Rangordnungsoperatoren sind die bekanntesten Fuzzy-Normen min und max. Eine Verallgemeinerung dieser Operatoren ist der OWA-Operator. Dieser bildet somit schon eine Klasse von Operatoren.

Der $OWA - Operator$ berechnet sich als normierte Summe der sortierten gewichteten Eingangsdaten. Die Formel zu Berechnung des OWA lautet allgemein:

$$OWA(\overrightarrow{x}, \overrightarrow{w}) := \sum_i w_i \bullet x_{(i)} \tag{6}$$

dabei sind:

- $\sum w_i = 1$
- $x(1) \leq ... \leq x(n)$

	1	$N/2$	N	$SONST$
min	$1,0$	$0,0$	$0,0$	$0,0$
$median$	$0,0$	$1,0$	$0,0$	$0,0$
max	$0,0$	$0,0$	$1,0$	$0,0$
$mean$	$1/N$	$1/N$	$1/N$	$1/N$

Tabelle 1:

Durch bestimmte Gewichte lassen sich viele Spezialisierungen des $OWA - Operators$ darstellen, auch der arithmetische Mittelwert läßt sich als Spezialfall ausdrücken. Die in Tabelle 1 gezeigten Operatoren sind spezielle Fälle des $OWA - Operators$.

2.4 $W_{min} - Operator$

Beim $W_{min} - Operator$, der das gewichtete Minimum der Eingangskanäle berechnet, erfolgt die Gewichtung der einzelnen Kanäle durch Maximumbildung mit einem jedem Kanal zugewiesenem Gewicht. Seine Definition lautet wie folgt:

$$W_{min} := min(max(f(x_i), 1 - w_i)) \tag{7}$$

Bei der Bildverarbeitung entspricht dies einer Beschränkung der Eingangsdaten mit einem Schwellwert auf der dunklen Seite. Dadurch kann erreicht werden, daß zu dunkle, d.h. unterbelichtete Bereiche aus einzelnen Bildern, unterdrückt werden.

2.5 $W_{max} - Operator$

Der $W_{max} - Operator$ ist analog zum $W_{min} - Operator$ als gewichtetes Maximum definiert:

$$W_{max} := max(min(f(x_i), w_i)) \tag{8}$$

Mit ihm kann erreicht werden zu helle, d.h. überbelichtete Bereiche in einzelnen Bildern auszublenden um diese dann durch die Maximum-Operation zusammenzufassen. Intuitiv sollten die Bilder dabei nicht so dunkel werden wie bei Verwendung z.B. des $min - Operators$, aber aufgrund der Beschränkung trotzdem keine Überbelichtungen enthalten.

2.6 Fuzzy-Maße

Fuzzy-Maße sind eine Erweiterung des klassischen Maß Begriffs aus der Wahrscheinlichkeitstheorie. Fuzzy-Maße besitzen genau wie klassische Maße folgende Eigenschaften:

1. $\mu : P(X) \to [0,1]$, $\mu(0) = 0$, $\mu(X) = 1$
2. $A \subset B \subset X \Rightarrow \mu(A) \leq \mu(B)$

Sie können auf zwei unterschiedliche Weisen interpretiert werden:

- Die Unsicherheit einer Aussage, die auf einer Teilmenge der Grundgesamtheit beruht
- Die Wichtigkeit einer Koalition in einem Mehrspieler-Problem oder bei der multisensoriellen Integration

Der Unterschied zu klassischen Maßen liegt im drittem Axiom. Typische Eigenschaften von Fuzzy-Maßen sind:

- additiv (wie Wahrscheinlichkeitsmaß):

$$A \cap B = 0 \Rightarrow \mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) \tag{9}$$

- superadditiv:

$$A \cap B = 0 \Rightarrow \mu(A \cup B) \geq \mu(A) + \mu(B) \tag{10}$$

- supermodular:

$$A, B \subset X \Rightarrow \mu(A \cup B) + \mu(A \cap B) \geq \mu(A) + \mu(B) \tag{11}$$

Sugeno-Maß:

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) + \lambda\mu(A)\mu(B) \tag{12}$$

wenn $\lambda < 0$ ist, hat es die Eigenschaft sub-additiv.
wenn $\lambda = 0$ ist, hat es die Eigenschaft additiv.
wenn $\lambda > 0$ ist, hat es die Eigenschaft super-additiv.

2.7 Fuzzy-Integral

Fuzzy-Integrale sind ein numerischer und nichtlinearer Ansatz zur Fusion von unsicherheitsbehafteten Informationsquellen. Sie kombinieren aus jeder Quelle:

- subjektive Information über Bedeutung und Relevanz der Quelle mit
- objektiver Information aus der Quelle.

Sie verknüpfen dabei:

- Fuzzy-Mengen (objektive Information) und
- Fuzzy-Maß (subjektive Relevanz).

2.7.1 Choquet-Fuzzy-Integral

Das $Choquet-Fuzzy-Integral$ ist einer der bekanntesten Vertreter des Fuzzy-Integrals. Dieser Operator verknüpft Fuzzy-Mengen (hier fuzzyfizierte Grauwerte) und Fuzzy-Maße (hier Gewichts-Maße der Eingangsbilder). Die formale Beschreibung dieses Operators ist:

$$\int f d\mu := \sum_{i=0}^{n} (f(x_{(i)}) - f(x_{(i-1)})\mu(A_{(i)}) \qquad (13)$$

dabei sind:

- $\mu : P(X) \to [0,1]$
- $X = x(1) \leq x(2) \leq ... \leq x(n)$

Das Fuzzy-Integral ist wiederum eine Verallgemeinerung des OWA-Operators der einen Spezialfall dieses Integrals darstellt. Es ist wesentlich freier zu parametrisieren und erlaubt die Gewichtung nicht nur entsprechend des Rangs, sondern es können auch Koalitionen unterschiedlich gewichtet werden. Z.B. kann, wenn der erste Eingangskanal der hellste und der zweite der zweithellste ist, der ertse Kanal ein anderes Gewicht erhalten, als wenn der dritte der zweithellste ist. Andererseits erfordert die Bestimmung der Gewichte einen wesentlich höheren Aufwand als zum Beispiel beim OWA-Operator, da die Anzahl der Parameter höher ist und wesentlich mehr Bedingungen beachtet werden müssen.

2.8 ILFOs

Die Idee bei diesen Operatoren ist es, die Verarbeitung an lokale Gegebenheiten der Bilder anzupassen. So können durch andere Bildverarbeitungsoperationen im voraus Regionen bestimmt werden. Bei der Fusion der Bilder ist es dann möglich in unterschiedlichen Regionen unterschiedliche Operatoren oder auch optimal angepasste Gewichte zu verwenden. Im hier vorliegendem Fall enthält dieses Maskbild Informationen über die überbelichteten Bereiche aus allen Kanälen. Mit dieser direkten anschaulichen Information können für verschiedenen Bereiche optimale Konfigurationen aus Operatoren und Gewichten bestimmt werden.

3 Ergebnisse

Im vorherigen Kapitel wurden die Fuzzy-Fusionsoperatoren vorgestellt, in diesem Kapitel werden deren Ergebnisbilder gezeigt. Abbildung1 zeigt die Eingangasbilder, die für die Versuche mit allen oben genanten Operatoren benutzt werden.

Die folgende Abbildung2 zeigt die Ergebnisse der Anwendung der Fuzzy-Fusionsoperatoren OWA, W_{min}, W_{max}, $und\ Choquet$. Die zu den Operatoren gehörenden Gewichte wurden manuell bestimmt.

Die Reflektionen in den Ergebnisbildern von Abbildung2 und Abbildung3 sind verglichen mit den Eingangsbildern deutich reduziert worden. Wenn die Reflektionsbereiche im Eingangsbild gut verteilt sind, können Störungen durch diese Reflektionen durch hier verwendeten Fuzzy-Fusionsoperatoren nahezu vollständig vermieden werden.

Das Maskenbild von Abbildung4 a) zeigt durch verschiedene Farben aus welchen Kanälen die Überbelichtungen kommen, damit kann mann leicht erkennen wo man welchen Operator nehmen sollte.

4 Ausblick

Für die hier vorgestellten Fuzzy-Fusionsoperatoren wurde die prinzipielle Anwendbarkeit auf multisensorielle Bilddaten zur Reflektionsvermeidung gezeigt.

a)

b)

c)

Abbildung 1: Die obigen Bilder a) bis c) zeigen den Satz an Eingangsbildern, anhand dessen die in diesem Artikel verwendeten Operatoren beispielhaft veranschaulicht werden sollen. Jedes Eingangsbild enthält mehr oder weniger überbelichtete Bereiche, jedoch ist keines frei von Störungen durch Überbelichtung.

a) OWA

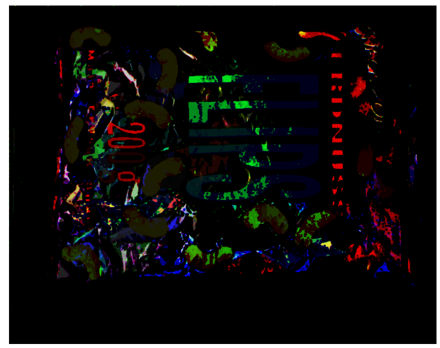
b) $Choquet$

Abbildung 2: a) Ergebnisbild des $OWA-Operators$ mit den Gewichten (0,6, 0,3, 0,1), b) Ergebnisbild des $Choquet-Fuzzy-Integral-Operators$ mit den Gewichten (0,1, 0,2, 0,38, 0,21, 0,4, 0,44)

a) W_{min}

b) W_{max}

Abbildung 3: a) Ergebnisbild des $W_{min} - Operators$ mit den Gewichten (1,0, 1,0, 0,1), b) Ergebnisbild des $W_{max} - Operators$ mit den Gewichten (0,2, 0,9, 0,2)



a) $Maskbild$

d) $ILFOs$

Abbildung 4: a) Maskenbild erstellt aus den Eingangsbildern, b) Ergebnisbild des $Choquet - ILFOs$ mit den lokalisierten Gewichtsgruppen.

Alle hier verwendeten Operatoren können mit einem minimalem Aufwand an Rechenzeit berechnet werden. Auch zeigt sich hier deutlich was für eine große Auswahl an Operatoren durch die Anwendung der Fuzzy-Logik zur Verfügung steht. Und die hier vorgestellten Operatoren sind nur ein sehr kleiner Teil der Gesamtmenge an Operatoren aus der Fuzzy-Logik die in der Bildverarbeitung eingesetzt werden können. Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen schon sehr gute Resultate obwohl im Bereich der Paramter-Optimierung noch viele Möglichkeiten offen sind. Dies leigt vorallem daran, daß bei der Optimierung dieser nicht-linearen Probleme mit vielen Parametern auch viele Randbedingungen beachtet werden müßen (Choquet). Weitere Forschungsarbeit wird sich vor allem auf dieses Gebiet konzentrieren.

5 Literatur

1. Hamid R. Tizhoosh Fuzzy-Bildverarbeitung Einführung in Theorie und Praxis

2. Michel Grabisch: Fuzzy Measures And Integrals For Decision Marking And Pattern Recognition

3. M. Köppen and A. Soria-Frisch and T. Sy: Fuzzy Visual Inspection Of Perceptually Relevant Faults. Fraunhofer IPK Berlin, Dept. Pattern Recognition

4. A. Soria-Frisch: Intelligent Localized Fusion Operators For Color Edge Detection Fraunhofer IPK, Dept. Pattern Recognition