

Softwarearchitektur zur Implementierung adaptiv rekursiver Algorithmen für die Bildverarbeitung

Ralph Maschotta, Simon Boymann und Dunja Steuer

Institut für Biomedizinische Technik und Informatik (BMTI)
Technische Universität Ilmenau, 98684 Ilmenau
Email: ralph.maschotta@tu-ilmenau.de

Zusammenfassung. Adaptiv rekursive Schätzmethoden wurden bereits in verschiedenen Gebieten erprobt. Die so entstandenen Algorithmen sollen, mit Hilfe von Partnern aus der Industrie, in ein System wiederverwendbarer und erweiterbarer Komponenten integriert werden. Es soll auch auf dem Gebiet der Bildverarbeitung, speziell zur Bewegungskompensation von Fundusbildern, eingesetzt werden. In einem ersten Schritt wurden die bestehenden Verfahren in das System integriert und die Ergebnisse bei der Anwendung auf Einzelbilder und Bildfolgen untersucht.

1 Problemstellung

Am Institut für Biomedizinische Technik und Informatik der TU Ilmenau existiert durch langjährige Forschung ein großer Fundus an adaptiv rekursiven Verfahren, die in verschiedenen Gebieten der Signalanalyse, aber auch auf dem Gebiet der Bildverarbeitung [1,2], angewendet und erprobt wurden. Die so entstandenen Implementierungen sind durch den langjährigen Entwicklungsprozess in unterschiedlichen Programmiersprachen, mit Hilfe unterschiedlicher Softwaretechniken und Paradigmen entwickelt worden. Dabei wurde hauptsächlich auf die Umsetzung der Algorithmen und nicht auf die notwendigen Eigenschaften moderner Software geachtet. Häufig fehlt außerdem eine ausreichende Dokumentation, so dass eine Reimplementierung der Algorithmen unumgänglich geworden ist. Um dem in Zukunft entgegen zu wirken, wurde eine Softwarearchitektur entworfen, die den Ansprüchen moderner Software gerecht wird. Sie soll es ermöglichen, neue und existierende Algorithmen einfach zu integrieren, sowie die Wiederverwertbarkeit und Erweiterbarkeit der entwickelten Algorithmen und Verfahren zu unterstützen. Ziel dieser Entwicklung ist die Erstellung eines komponentenbasierten Softwaresystems, das als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen soll. Auf dem Gebiet der Bildverarbeitung soll eine Bewegungskompensation von Bildfolgen des Augenhintergrundes mit Hilfe adaptiv rekursiver Verfahren untersucht werden. Dazu wurden zunächst bekannte Verfahren zur Lösung einfacher Bildverarbeitungsaufgaben in das neue System eingefügt, um die Verwendbarkeit der Softwarearchitektur zu überprüfen.

2 Softwarearchitektur

Bei dem Entwurf der Softwarearchitektur wurden die bekannten Vorteile der Objekttechnologie ausgenutzt und eine objektorientierte Softwarearchitektur mit Hilfe der

UML modelliert. Bei der Problemanalyse wurden verschiedene Architektur- und Entwurfsmuster [3,4] auf ihre Einsetzbarkeit überprüft und anschließend sinnvoll kombiniert. Die daraus resultierende Softwarearchitektur ist bereits umgesetzt und in [5,6] vorgestellt. Sie besteht im Wesentlichen aus einer Kombination von drei Architekturmustern. Eine hohe Wiederverwendung wurde durch den Einsatz des Pipes and Filters Muster erreicht. Mit Hilfe des Reflection Musters wurde ein reflexives System erstellt, dessen Komponenten durch das Microkernel Muster verwaltet werden.

In [2] wurde eine Klassenstruktur zur Implementierung verschiedener adaptiv rekursiver Schätzverfahren (1) vorgestellt. Diese Klassenstruktur diente als Grundlage, um diese Verfahren in die neu entwickelte Softwarearchitektur zu integrieren.

$$S_0 = s_0 \quad (\text{Startwert}) \quad S_{n+1} = S_n + c_n \cdot K(S_n, x_{n+1}) \quad (1)$$

Die Klasse *AdaptFilter* ist die Basisklasse für alle adaptiv rekursiven Schätzverfahren. Sie erbt von der Klasse *StdBasicFilter* und kann somit in dem Pipes and

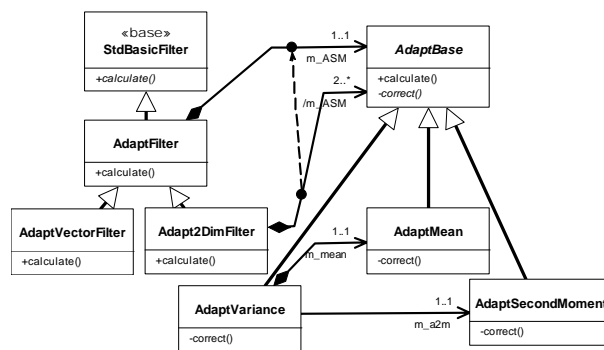


Abb. 1 Klassenstruktur für adaptiv rekursive Verfahren

Filters System verwendet werden. In Abb. 1 ist die neue Klassenstruktur für adaptiv rekursive Verfahren abgebildet. Durch die Verwendung des State Musters [3] ist es möglich, verschiedene Filter mit unterschiedlichen adaptiv rekursiven Verfahren zu erstellen. Diese Filter verarbeiten zunächst nur einzelne Werte. Zur Analyse einer Signalfolge können die Werte nacheinander an den Filter übergeben werden. Um Zeit zu sparen, ist es sinnvoll eine komplette Signalfolge auf einmal zu berechnen. Zu diesem Zweck wurde die Klasse *AdaptVectorFilter* erstellt, die von der Klasse *AdaptFilter* erbt. Wenn man ein Bild als eine sequentielle Folge von Signalen ansieht, ist es möglich, dieses Bild mit Hilfe dieser Klasse zu bearbeiten.

Eine weitere Möglichkeit adaptive Verfahren auf Bilder anzuwenden besteht darin, in einer Bildfolge jedes Pixel über die Zeit als Signal anzusehen. Jedes dieser Signale kann nun mit Hilfe adaptiver Verfahren analysiert werden. Um dies zu realisieren benötigt man für jedes Pixel im Bild ein eigenes *AdaptBase*-Objekt. Dies wird durch die Klasse *Adapt2DimFilter* mit Hilfe einer Attributvererbung realisiert, bei der die Kardinalität des Attributes der Anzahl der Pixel des Bildes entspricht.

In der Klasse *AdaptBase* wird die allgemeine Form der adaptiv rekursiven Schätzung (1) in der Methode *calculate* implementiert. Die abstrakte Methode *correct* entspricht dem Korrekturterm $K(S_n, x_{n+1})$ und wird in den abgeleiteten Klassen mit den entsprechenden Implementierungen der adaptiv rekursiven Verfahren überschrieben.

In der Klasse *AdaptMean* wird der adaptive Mittelwert durch das Überschreiben der *correct* Methode und der Implementierung des Korrekturterm des adaptiven Mittelwertes realisiert. In der Klasse *AdaptSecondMoment* wird das adaptive zweite statistische Moment entsprechend implementiert. Die adaptive Varianz kann mit Hilfe

des adaptiven Mittelwertes und des adaptiven zweiten statistischen Moments berechnet werden [1,2]. Dementsprechend wird in der Klasse *AdaptVarianz* der adaptive Mittelwert und das zweite statistische Moment verwendet.

Diese Architektur bietet die Grundlage, verschiedene adaptive Verfahren auf Bilder und Bildfolgen anzuwenden.

3 Adaptiv rekursive Verfahren für die Bildverarbeitung

Im folgenden sollen nun untersuchte Anwendungsmöglichkeiten adaptiv rekursiver Verfahren auf Bilder und Bildfolgen vorgestellt werden.

Ein erster Ansatz ist die Berechnung globaler Bildparameter, wie zum Beispiel die Berechnung der Varianz, mit Hilfe adaptiv rekursiver Schätzmethoden. Das Bild wird dabei als Pixelvektor angesehen und die adaptiv rekursive Varianz über diesen Vektor berechnet. Die Adaptionkonstante sollte dazu der Bildgröße entsprechend klein gewählt werden. Vorteil dieses Vorgehens ist die Berechnung der globalen Bildparameter in einem fortlaufenden Datenstrom.

Wählt man die Adaptionkonstante relativ hoch, ist es möglich, die adaptiv rekursiven Verfahren als lokale Operatoren zu verwenden. Auch hierbei wird das Bild als Pixelvektor angesehen. Als Beispiel wurde der adaptive Mittelwert verwendet. Das Ergebnis ähnelt einem eindimensionalen sequentiell verarbeiteten Mittelwertoperator.

Eine weitere Möglichkeit zur Verwendung adaptiv rekursiver Verfahren in der Bildverarbeitung besteht darin, Bildfolgen zu analysieren und dabei jedes Pixel als ein Signal über die Zeit zu betrachten. In [1] wurde ein Simulationsbeispiel vorgestellt, in dem ein Kreuz abwechselnd diagonal bzw. horizontal-vertikal positioniert in einem gleichverteilten Rauschen erscheint. Über diese Bildfolge wird nun der adaptiv rekursive Mittelwert berechnet. Die Umsetzung dieses Verfahrens in die neue Architektur lieferte die gleichen Ergebnisse wie in [1] beschrieben.

In [1,2] wurde versucht, komplexe adaptive Verfahren zur Segmentierung von Mapfolgen einzusetzen, um so Ausprägungen stabiler Phasen im Denkprozeß zu











t	320ms	464ms	588ms	924ms	1432ms
(1)					
(2)					

Tabelle 1 Kohärenzmaps (1) und die Ergebnisse nach der Berechnung der adaptiven Varianz und anschließender Binarisierung (2), ab dem Zeitpunkt der Darstellung des zweiten Zeichens

Maps mit niedriger Varianz (Tab. 1 (2) nach 320, 588 und 1432 ms) veranschaulichen quasistabile Phasen im Denkprozess, Maps mit hoher Varianz (Tab. 1 (2) nach 464 und 924ms) zeigen Übergänge zwischen den Phasen. Um hohe Varianzen besser visualisieren zu können, wurden die Ergebnisse mit einer empirisch bestimmten Schwelle binarisiert.

erkennen. Dazu wurde eine Versuchsreihe analysiert, bei der die Aufgabe der Probanden darin bestand, zwei Punktmuster (Garner) bzw. zwei Buchstaben (Posner) miteinander zu vergleichen. Aus dem dabei abgeleiteten EEG wurden Kohärenzmapfolgen (Tab. 1 (1)) adaptiv rekursiv berechnet. Für eine Mapfolge wird nun mit Hilfe der neuen Architektur für jedes Pixel die adaptive Varianz über die Zeit ermittelt. Maps

4 Diskussion

Die gezeigten Implementierungen veranschaulichen die Verwendbarkeit der vorgestellten Architektur für die Signal- und Bildverarbeitung. Die zusätzlichen Kosten der Softwarearchitektur lassen sich durch Optimierungen reduzieren und werden durch die Vorteile, die diese Architektur bietet, ausgeglichen. Vor allem bei Bildverarbeitungsaufgaben sind die Kosten für die Berechnungen höher als die zusätzlichen Kosten für die Softwarearchitektur. Bei der Umsetzung der vorhandenen adaptiv rekursiven Verfahren erwies sich die Softwarearchitektur als hilfreich, da die Algorithmen einfach wiederverwendet werden konnten. Bei der Anwendung dieser Algorithmen auf Bildfolgen konnten frühere Untersuchungsergebnisse repliziert werden.

Die adaptiv rekursive Schätzung globaler Bildparameter ist möglich, jedoch ist der Einsatz dieser Verfahren über Einzelbilder nur teilweise sinnvoll. Die Ergebnisse sind stark von der Wahl der Adaptionkonstanten sowie der Bildstruktur abhängig. Der Vorteil der schnellen Verarbeitung ist nicht ausreichend, da auch andere Verfahren eine schnelle Berechnung globaler Bildparameter ermöglichen und zudem bessere Ergebnisse liefern.

Adaptiv rekursive Verfahren können auch als lokale Operatoren eingesetzt werden. Die Wirkungen dieser Operatoren muss jedoch noch weiter untersucht werden. Die Verwendung eines adaptiv rekursiven Kantenoperators könnte gute Ergebnisse liefern, da adaptiv rekursive Verfahren Instationaritäten in Signalen detektieren können und sich somit an Signalveränderungen anpassen können.

Die Wahl der Adaptionkonstante hat wie in [1,2] beschrieben einen großen Einfluss auf das Ergebnis der adaptiv rekursiven Schätzung. Eine dynamische Anpassung der Adaptionkonstante könnte zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen und ist Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

Es lassen sich weitere Anwendungsfälle für adaptiv rekursive Verfahren herleiten. Im nächsten Schritt sollen adaptiv rekursive Verfahren zur Lösung von Mustererkennungsaufgaben untersucht werden, um die Grundlagen zu schaffen, die für eine adaptiv rekursive Bewegungskompensation von Bildfolgen des Augenhintergrundes notwendig sind.

(Projekt „ATISA“, gefördert durch TMWFK: B699-00011)

5 Literatur

1. G. Grießbach, B. Schack, Erkennung und Beschreibung dynamischer Veränderungen in Bildsequenzen mit Hilfe adaptiver Verfahren, BVM 95,1995
2. D. Steuer, G. Grießbach, Anwendung adaptiver Schätzmethoden zur Bildverarbeitung am Beispiel der Segmentierung von EEG-Map-Sequenzen auf der Basis objektorientierter Programmierung, BVM 97:88-93, 1997
3. E. Gamma et al., Entwurfsmuster, Addison Wesley, 1996
4. F. Buschmann et al., Pattern orientierte Softwarearchitektur, Addison Wesley, 1998
5. S. Boymann et al., Software development of components for complex signal analysis on the example of adaptive recursive estimation methods, WSES MIV 2001, 299-303, 2001
6. R.Maschotta et al., Software architecture for modular, extensible and reusable signal processing components, WSES MIV 2001, 304-308, 2001