
SIGNAL AND VARIABILITY EXTRACTION FOR ONLINE MONITORING IN INTENSIVE CARE

Kurzfassung der Dissertation

vorgelegt von

Karen Schettlinger
Fakultät Statistik
Technische Universität Dortmund

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit robusten Verfahren zur Extraktion des rauschfreien Signals einer Zeitreihe sowie der Variabilitätsschätzung des Rausch-Terms. Die untersuchten Methoden wurden speziell für die Analyse hoch-frequenter Daten, wie sie in der Intensivmedizin auftreten, entwickelt, und eignen sich für die Anwendung in Echtzeit.

Die Echtzeit-Überwachung sekundlich gemessener Zeitreihen des hämodynamischen Systems von Intensiv-Patienten basiert zur Zeit hauptsächlich auf einem einfachen Schwellwert-Alarmsystem: Eine Überschreitung der vom Personal festgelegten Alarmgrenzen durch einen Messwert löst einen Alarm aus. Dies führt aufgrund von technischen Mess-Artefakten oder plötzlichen Bewegungen des Patienten (z.B. beim Husten) zu einer hohen Zahl an Fehlalarmen, die u.a. eine Desensibilisierung des Personals nach sich zieht. Die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Verfahren können dazu beitragen die Fehlalarmrate zu reduzieren und dem klinischen Personal relevante Informationen komprimiert darzustellen.

Zur Ermittlung des zugrundeliegenden, von Rauschen und Messartefakten bereinigten Signals einer Zeitreihe in Echtzeit haben sich Filter bewährt, die auf gleitenden Zeitfenstern basieren – insbesondere solche, die auf der robusten Repeated Median (RM) Regression aufbauen. Für diese Regressionsmethode wird die Verteilung der Anzahl und der Position von Nullresiduen der RM-Regression bei standardnormalverteilten Daten approximiert. Zudem werden Ähnlichkeiten in der Korrelationsstruktur der RM-Residualvorzeichen und der Kleinste-Quadrate-Residuen aufgedeckt.

Die erzielten Ergebnisse fließen direkt ein in die Entwicklung eines robusten RM-Filters, der die Länge des Zeitfensters adaptiv, in Anpassung an die entsprechende Datensituation, wählt. Diese adaptive Prozedur basiert auf einem Test, der als Teststatistik die Summe einer Teilmenge von RM-Residualvorzeichen in einem Zeitfenster verwendet. Zur Bestimmung geeigneter kritischer Werte für den Test wird die Verteilung der Teststatistik approximativ bestimmt. Anhand einer Simulationsstudie wird belegt, dass sich für die robuste Echtzeit-Signalextraktion die Teststatistik am besten eignet, die als Teilmenge die aktuellsten RM-Residualvorzeichen wählt. Dieses Verfahren wird auch auf den multivariaten Fall verallgemeinert, wobei Anwendungen auf multivariate intensivmedizinische Zeitreihen zeigen, dass die Ergebnisse des komponentenweise angewendeten univariaten Filters aufgrund höherer Effizienz i. Allg. denen des multivariaten Filters vorzuziehen sind.

Eine weitere Verbesserung von gegenwärtigen Alarmsystemen kann erreicht werden, indem Informationen über die Variabilität der Zeitreihe bzw. des um das Signal schwankenden Fehlers mit in die Alarmregeln einbezogen werden. Zur Echtzeit-Extraktion dieser Variabilität werden drei verschiedene robuste, auf gleitenden Zeitfenstern basierende, Ansätze verglichen: Beim regressionsbasierten Ansatz wird die Variabilität auf Basis von Residuen geschätzt. Hier wird speziell der robuste Q_n Skalen-Schätzer, angewendet auf RM-Residuen, untersucht. Dazu wird angenommen, dass das Signal der Zeitreihe lokal linear approximiert werden kann. Diese Annahme wird auch für den regressionsfreien Ansatz benötigt, der jedoch für die Variabilitätsschätzung des Fehler-Terms keinen Regressions-Schritt zum Entfernen eines Trends aus dem Signal mehr benötigt. Der dritte Ansatz kommt ohne die Annahme der lokalen Linearität aus und wird insofern als 'modellfrei' bezeichnet.

Für die regressions- und modellfreien Schätzer werden (ihre bisher noch nicht bekannten) Robustheitseigenschaften untersucht; insbesondere werden ihre Bruchpunkte für endliche Stichproben hergeleitet. Die drei Ansätze werden zudem anhand einer Simulationsstudie und in Anwendungen auf simulierte und intensivmedizinische Zeitreihen verglichen. Die modellfreien Skalen-Schätzer weisen einen deutlichen Vorteil bei Verletzung der Annahme der lokalen Linearität des Signals auf und sind zudem extrem schnell zu berechnen. Die regressionsfreien Schätzer dagegen sind robuster, bedeuten jedoch einen hohen Rechenaufwand. Der untersuchte regressionsbasierte Schätzer ist ebenfalls sehr robust und auch schnell zu berechnen, aber er ist für die korrekte Variabilitätsschätzung auf eine korrekte Signalschätzung angewiesen. Zur Anwendung in der Intensivmedizin bietet sich eine Kombination des modellfreien mit einem regressionsfreien bzw. einem regressionsbasierten Ansatz an – je nachdem, ob das zugrundeliegende Signal ebenfalls von Interesse ist.