

Ausgewählte Kapitel der Signalverarbeitung

2. Semester (MA), 2 VO, 1UE, 1SE

Lehrziel:

Das Lehrziel ist die Vermittlung von grundlegende Kenntnisse in der Beschreibung, Identifikation und Analyse von stochastischen Prozessen. Das spezielle Augenmerk liegt dabei auf stationären Prozessen. Unterschiedliche Darstellungen sowohl im Ortsbereich als auch im Spektralbereich werden diskutiert. Spezielles Augenmerk wird auf kovarianzstationäre Prozesse gelegt und die Zusammenhänge sowohl im Ortsbereich als auch im Spektralbereich in Form des Magischen Quadrates (Signal - Kovarianzfunktion - Spektrale Repräsentanz und Leistungsdichtespektrum) herausgearbeitet. Die effiziente numerische Umsetzung sowohl bei gleichabständiger als auch unregelmäßiger Datenverteilung werden untersucht. Anwendungen aus dem Bereich der Satellitengeodäsie, Ingenieurgeodäsie und Fernerkundung dokumentieren den Einsatz der Methodik in der geodätischen Praxis.

Lehrinhalte:

- 1 Einführung
- 2 Stochastische Prozesse
- 3 Stationarität, Autokovarianz-, Autokorrelationsfunktion
 - 3.1 Kovarianzstationärer Prozess
 - 3.2 Einführung in das *Magisches Quadrat*
 - 3.3 Gauß-Prozess
- 4 Kontinuierliche stochastische Prozesse
 - 4.1 Autokovarianzfunktion
 - 4.1.1 Positive Definitheit, Theorem von Bochner
 - 4.1.2 Operationen mit pos. def. Funktionen
 - 4.1.3 Beispiele für pos. def. Funktionen in 1D
 - 4.1.4 Beispiele für pos. def. Funktionen in 2D
 - 4.1.5 Positive Definitheit von radialen Kovarianzfunktionen
 - 4.1.6 Modelle nach Hirvonen
 - 4.1.7 Kovarianzfunktionen am Kreis, Kugel und harmonische Fortsetzung in den Außenraum
 - 4.1.8 Modelle nach Matérn
 - 4.1.9 Finite Kovarianzfunktionen 1D, 2D, 3D
 - 4.1.10 Empirische Schätzung von Kovarianzfunktionen

- 4.1.11 Verallgemeinerte Varianzfortpflanzung für Kovarianzfunktionen
- 4.2 Beispiele für kontinuierliche stochastische Prozesse
 - 4.2.1 Weißes Rauschen
 - 4.2.2 Harmonische Prozesse mit stochastischen Koeffizienten
 - 4.2.3 Harmonische Prozesse mit stochastischen Phasen
 - 4.2.4 Stochastische Prozesse auf der Kugel
- 5 Zeitdiskrete stochastische Prozesse
 - 5.1 Weißes Rauschen
 - 5.2 Woldsches Zerlegungstheorem
 - 5.3 Verschiebe und Lag-Operator
 - 5.4 Stationarität von Moving-Average (MA) Prozessen
 - 5.5 Beispiele für zeitdiskrete Prozesse, Woldsches Äquivalenzprinzip
 - 5.6 Stationarität von ARMA(p,q)-Prozessen
 - 5.7 Autoregressiver Prozess 1. Ordnung - AR(1)-Prozesse
 - 5.8 Kovarianzfunktionen von zeitdiskreten, kovarianzstationärer Prozesse
 - 5.9 empirische Schätzung
 - 5.9.1 Rückführung von AR und ARMA-Prozessen auf MA-Prozesse
 - 5.9.2 AR Prozesse und Yule-Walker Gleichungen
 - 5.10 Spezielle Charakteristiken für Prozesse 1. und 2. Ordnung
 - 5.11 Beispiel: Beurteilung eine Zeitreihe von Setzungsmessungen am Mailänder Dom
 - 5.12 Optimale Schätzung der AR-Prozessparameter
 - 5.12.1 Yule-Walker Schätzer
 - 5.12.2 Burg Schätzer
 - 5.12.3 Kleinster Quadrate Schätzer
 - 5.12.4 Numerische Umsetzung — Toeplitz Systeme
 - 5.13 Dekorrelation von Prozessen
 - 5.13.1 Ansatz über Kovarianzfunktion - MA- und AR-Filter
 - 5.13.2 Ansatz über Prozessparameter
 - 5.13.3 Moving Average Filter AR(1)-Prozess
 - 5.13.4 Burg Schätzer
 - 5.13.5 Kleinster Quadrate Schätzer
 - 5.13.6 Robuste Schätzer für AR-Prozesse
 - 5.13.7 Numerische Umsetzung — Toeplitz Systeme
 - 5.13.8 Datenlöcher — effiziente Implementierung
 - 5.14 Zeitvariable AR-Prozesse
- 6 Spektrale Darstellung von stochastischen Prozessen
 - 6.1 Magisches Quadrat
 - 6.2 Spektrale Schätzer

Lehrmethode:

Integrierte Lehrveranstaltung mit Vorlesungs- und Übungsanteilen, eigenständiger Literaturlaufbereitung mit Vorstellung und Diskussion.

Wegen der Corona-Pandemie werden die Vorlesungen und Übungen zunächst in elektronischer Form abgehalten.

Prüfung:

Modulprüfung: „Ausgewählte Kapitel der Signalverarbeitung“ (M26)

Regelprüfungsform: semesterbegleitende Aufgaben (Assignments)

Literatur

- Bochner, S. (1933): Monotone Funktionen, Stieltjessche Integrale und harmonische Analyse. *Mathematische Annalen*, 108:378–410.
- Box, G., G. Jenkins (1970): *Time Series Analysis forecasting and control*. Holden-Day.
- Brigham, E. (1997): *FFT-Anwendungen*. R. Oldenbourg Verlag, München.
- Brockwell, P. J., R. A. Davis (1991): *Time Series: Theory and Methods*. Springer, Berlin, 2. Auflage. ISBN 1-4419-0319-8.
- Buttkus, B. (2000): *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Gaspari, G., S. Cohn (1999): Construction of correlation functions in two and three dimensions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125(554):723–757.
- Gradshteyn, I., I. Ryzhik (2007): *Table of Integrals, Series, and products*. Academic Press.
- Hamilton, J. (1994): *Time Series Analysis*. Princeton University Press, Princeton.
- Hirvonen, R. (1962): On the statistical analysis of gravity anomalies. *Reports of the Department of Geodetic Science*, Band 19. Ohio State University (OSU), Ohio.
- Kay, S., S. Marple (1981): Spectrum Analysis - A Modern Perspective. *Proceedings of the IEEE*, 69(11):1380–1419. ISSN 0018-9219.
- Koch, K., H. Kuhlmann, W.-D. Schuh (2010): Approximating covariance matrices estimated in multivariate models by estimated auto- and cross-covariances. *J. Geodesy*, 84(6):383–397. doi:10.1007/s00190-010-0375-5. [BibTeX](#).
- Krasbutter, I., B. Kargoll, W.-D. Schuh (2015): Magic Square of Real Spectral and Time Series Analysis with an Application to Moving Average Processes. Kutterer, H., F. Seitz, H. Alkhatib, M. Schmidt, (Hrsg.), *The 1st International Workshop on the Quality of Geodetic Observation and Monitoring Systems (QuGOMS'11), IAG Symposia*, Band 140 *International Association of Geodesy Symposia*, S. 9–14. Springer. ISBN 978-3-319-10827-8. doi:10.1007/978-3-319-10828-5_2. [BibTeX](#), [PDF](#).
- León, F. P., H. Jäkel (2015): *Signale und Systeme*. De Gruyter, Oldenbourg, 6. Auflage.
- Moritz, H. (1973): *Least-squares collocation*. Deutsche Geodätische Kommission, München. Reihe A, 75.
- Moritz, H. (1980): *Advanced Physical Geodesy*. Wichmann, Karlsruhe.
- Priestley, M. (2004): *Spectral Analysis and Time Series*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Reguzzoni, M., F. Sansò, G. Venuti (2005): The theory of general kriging, with applications to the determination of a local geoid. *Geophysical Journal*, 162(2):303–314. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02662.x.
- Sansò, F. (1985): The Analysis of Time Series with Applications to Geodetic Control Problems. Grafarend, E., F. Sansò, (Hrsg.), *Optimization and Design of Geodetic Networks*, S. 257–300. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-70659-2_17.
- Sansò, F. (2015): Investigations on radial covariance functions and their positive definiteness in 1D and 2D. Personal communication (Mail from Feb. 21th, 2015).
- Sansò, F., W.-D. Schuh (1987): Finite covariance functions. *Bulletin Géodésique*, 61(4):331–347. doi:10.1007/BF02520559. [BibTeX](#).
- Scargle, J. (1981): Studies in astronomical time series analysis. I – Modeling random processes in the time domain. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 45:1–71. URL <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1981ApJS...45...1S>.
- Schlittgen, R., B. Streitberg (2001): *Zeitreihenanalyse*, 9. Aufl. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Schuh, W.-D. (2003): *Numerische Verfahren zur geodätischen Optimierung*. Skriptum. Theoretische Geodäsie, Universität Bonn.
- Schuh, W.-D. (2016): Signalverarbeitung in der Physikalischen Geodäsie. Freeden, W., R. Rummel, (Hrsg.), *Handbuch der Geodäsie*, Band Erdmessung und Satellitengeodäsie *Springer Reference Naturwissenschaften*, S. 73–121. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-47099-2. doi:10.1007/978-3-662-47100-5_15. [BibTeX](#), [PDF](#).
- Schuh, W.-D., J. Brockmann (2018): Numerical treatment of covariance stationary processes in least squares collocation.

- Freeden, W., (Hrsg.), *Handbuch der Geodäsie*, Band Mathematical Geodesy *Springer Reference Naturwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-46900-2_95-1. [BIBTEX](#), [PDF](#).
- Schuh, W.-D., J. Brockmann, B. Kargoll (2015a): Correlation analysis for long time series by robustly estimated autoregressive stochastic processes. *EGU General Assembly 2015*. Wien. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015EGUGA..1713050S>. Oral presentation (solicited), 17.4.2015 [BIBTEX](#), [PDF](#).
- Schuh, W.-D., J. Brockmann, B. Kargoll, I. Loth (2014a): Decorrelation strategies for the integration of finite sequences of a stochastic process into Gauss-Markov models. *EGU General Assembly 2014: G1.1 Recent Developments in Geodetic Theory*. Vienna. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/2014EGUGA..1615231S>. Oral presentation, 28.4.2014.
- Schuh, W.-D., I. Krasbuter, B. Kargoll (2014b): Korrelierte Messung - was nun? Neuner, H., (Hrsg.), *Zeitabhängige Messgrößen - Ihre Daten haben (Mehr-)Wert*, Band 74 *DVW-Schriftenreihe*, S. 85 – 101. Wißner, Augsburg. [BIBTEX](#), [PDF](#).
- Schuh, W.-D., S. Müller, J. M. Brockmann (2015b): Completion of band-limited data sets on the sphere. Kutterer, H., F. Seitz, H. Alkhatib, M. Schmidt, (Hrsg.), *The 1st International Workshop on the Quality of Geodetic Observations and Monitoring Systems (QuGOMS'11)*, *IAG Symposia*, Band 140 *Lecture Notes in Earth Science*, S. 171–178. Springer. doi:10.1007/978-3-319-10828-5_25. [BIBTEX](#), [PDF](#).
- Wold, H. (1938): *A study in the analysis of stationary time series*. Almqvist & Wiksell, Stockholm, Univ. Diss., 2. Auflage.

Bonn, 22. April 2020

Wolf-Dieter Schuh