

Datengetriebene Modellierung und Schätzung der Strahlpositionsdrift in Elektronenstrahlsystemen

K. Schrom[†], A. Deutschmann-Olek[†], A. Kugi[†]

[†]Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN), Technische Universität Wien,
Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien, E-Mail: katharina.schrom@tuwien.ac.at

Elektronenstrahlsysteme (ESS) bilden die Grundlage für Elektronenstrahlmikroskopie und Elektronenstrahlolithografie - zwei Schlüsseltechnologien der modernen Halbleiterfertigung. Die Genauigkeit der Strahlposition in diesen Systemen wird durch verschiedene Faktoren beeinträchtigt, wie beispielsweise thermische Ausdehnung, Verformungen infolge von Änderungen des Umgebungsdrucks oder Driftvorgängen in elektronischen Bauteilen. Bei geladenen Teilchenstrahlen stellen elektrostatische Aufladungseffekte einen zusätzlichen Einflussfaktor dar. Infolgedessen weicht die Strahlposition im Laufe der Zeit zunehmend von der Sollposition ab.

Moderne Fertigungsmethoden wie EUV-Technologien für Leading-Edge Prozessknoten stellen extrem hohe Anforderungen an die Präzision der Strahlpositionierung. Elektronenstrahlbasierte Maskenschreiber für diese Technologien erfordern eine Strahlpositionierungsgenauigkeit im Subnanometerbereich. Aktuelle Ansätze zur Kompensation des Strahldrifts basieren auf offline kalibrierten klassischen Strahldriftmodellen. Verbleibende Positionsabweichungen werden durch periodische Strahlkalibrierungsvorgänge korrigiert. Aufgrund der Komplexität und steigenden Anforderungen lassen sich viele Effekte jedoch nur schwer allein mit First-Principles-Modellen vorhersagen.

Dieser Beitrag präsentiert daher verschiedene datengestützte Ansätze zur Modellierung und Schätzung von Strahlpositionsdrift in ESS. Aufbauend auf einem bestehenden Strahldriftmodell wird dieses in der vorliegenden Arbeit um ein multilineares, datengetriebenes Modell erweitert, welches messtechnisch erfasste Einflussfaktoren in die Prädiktion einbeziehen kann. Diese Einflussfaktoren werden experimentell identifiziert und mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse [1, 2] zu einem niedrigdimensionalen Eingangsvektor zusammengefasst. Darüber hinaus stellen wir eine auf Gauß-Prozessen [3] basierende Methode vor, um bisher unbekannte Nichtlinearitäten in der Dynamik von Aufladungseffekten zu modellieren. In diesem hybriden Ansatz kombinieren wir A-priori-Wissen mit maschinellem Lernen, um über aktuelle Modellansätze hinauszugehen und gleichzeitig die Interpretierbarkeit der Modellparameter zu bewahren sowie die Stabilität des identifizierten Modells zu garantieren.

Ausgehend von dem erweiterten Strahldriftmodell wird ein auf einem Kalman-Filter basierender Schätzer entwickelt, der sich adaptiv an Parameterdrift anpasst und einen sicheren Online-Betrieb ermöglicht. Der entwickelte Schätzer verhindert sog. Kovarianz-Windup [4], fördert die Sparsität der geschätzten Parameter [5] und ermöglicht die Berücksichtigung von Ungleichheitsbeschränkungen [6]. Der resultierende Algorithmus wird anhand von Messdaten aus einem industriellen Maskenschreiber validiert. Dabei zeigt sich eine verbesserte Schätzung der Strahldrift im Vergleich zu aktuellen Ansätzen.

Literatur

- [1] Greenacre, M., Groenen; P.J.F.; Hastie, T.; D’Enza, A.I.; Markos, A.; Tuzhilina, E.: Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, Band 2(1), 1–21, 2022.
- [2] Brunton, S.L; Kutz, J.N.: *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 2019.
- [3] Rasmussen, C. E.; Williams, C. K. I.: *Gaussian Processes for Machine Learning*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2005.
- [4] Cao, L.; Schwartz, H.M.: Analysis of the Kalman filter based estimation algorithm: An orthogonal decomposition approach. *Automatica*, Band 40(1), 5–19, 2004.
- [5] Farahmand, S.; Giannakis, G.B.; Leus, G.; Tian, Z.: Tracking target signal strengths on a grid using sparsity. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Band 2014(1), 7, 2014.
- [6] Simon, D.: *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2006.