

**Camera Calibration &  
Measurement Accuracy**  
**(soft2tec GmbH - nexonar)**



27. 08. 2021		On distance dependence of sensor quality 1
03. 09. 2021		On distance dependence of sensor quality 2
10. 09. 2021		On distance dependence of sensor quality 3
24. 09. 2021		On distance dependence of sensor quality 4
01. 10. 2021		On distance dependence of sensor quality 5
08. 10. 2021		On distance dependence of sensor quality 6
08. 04. 2022		Bayesian Inference of Calibration Methods
14. 10. 2022		nexonar Calibration Analyzer (nCA)
16. 12. 2022		Euler Angle Dependence of pixel values
26. 05. 2023		An optimized infra-red tracker design – Flower Trackers
30. 06. 2023		Improved Prime Number Generation
17. 11. 2023		nexonar Calibration Analyzer (nCA) v2.0
07. 06. 2024		nexonar Calibration Analyzer (nCA) v3.0
27. 01. 2025		Bayesian Calibration Comparisons and Lens Analysis

## **Talk 1: On distance dependence of sensor quality**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim**

**Friday, August 27<sup>th</sup> 2021, 14:00 h, online**

How does distance inaccuracy along the camera's z-axis depend on the corresponding inclination angle with respect to a fixed diode separation?

We intend to tackle this question and its critical issues from three different perspectives:

- 1) the perspective of a static tracker,
- 2) the perspective of a rotating tracker and
- 3) the perspective of experimental and theoretical requirements within the framework of possible solutions to addressed problems (i.e. Euler matrix rotations, total derivatives, fitting functions, etc).

All preliminary results and gathered raw data samples will be briefly described. This will allow us to look beyond the scope of current problems and envision possible future software implementations of desired distance inaccuracy estimates.

## **Diskussion 1: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim**

**Freitag, 27. August 2021, 14:00 Uhr, online**

Wie hängt die Distanzungenauigkeit entlang der Kameras z-Achse vom entsprechenden Neigungswinkel zu einem fixen Diodenabstand ab?

Diese Frage und ihre kritischen Aspekte beabsichtigen wir aus drei Blickwinkeln zu beleuchten:

- 1) der Perspektive des statischen Trackers,
- 2) der Perspektive des rotierenden Trackers und
- 3) der Perspektive experimenteller und theoretischer Anforderungen beim Lösen aufgestellter Probleme (z. B. Eulersche Rotationsmatrix, totale Differentiale, Fit-Funktionen, etc).

Alle vorläufigen Ergebnisse und aufgenommenen rohen Daten werden kurz beschrieben. Dies wird uns ermöglichen, über den Tellerrand aktueller Problemstellungen hinaus zu schauen und mögliche künftigen Softwareimplementierungen erwünschter Distanzungenauigkeitsberechnungen anzuvisieren.

### **References /Literatur:**

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., "*Numerik*", Springer-Spektrum (2019).

## Talk 2: On distance dependence of sensor quality

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, September 3<sup>rd</sup> 2021, 14:00 h, online

As a first step of our endeavor towards a thorough study of sensor quality's distance dependence we dissect the mathematical formula for computing distance errors along the camera's z-axis. This task will also force us to take a deep analytical and numerical look at the z-dependence of camera's pixel region size  $p(z)$  and propose a short algorithm for a MATLAB-module „DeltaZestimator.m“ which should automatize the process of distance error estimation along the camera's z-axis.

A short outlook on possible expectations from the first MATLAB-implementation of distance error estimation concludes our discussion.

## Diskussion 2: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 3. September 2021, 14:00 Uhr, online

Als ersten Schritt unserer Bestrebungen in Richtung einer ausführlichen Untersuchung der Trackerqualität und ihrer Distanzabhängigkeit sezieren wir die mathematische Formel zur Distanzfehlerberechnung entlang der Kameras z-Achse. Dieses Unterfangen wird uns auch zwingen, einen genaueren analytischen und numerischen Blick auf die z-Abhängigkeit der sensorischen Pixelgröße  $p(z)$  zu werfen und einen kurzen Algorithmus für das MATLAB-Modul „DeltaZestimator.m“ vorzuschlagen, das den Prozess der Distanzfehlerberechnung entlang der Kameras z-Achse automatisieren sollte.

Ein kurzer Ausblick auf mögliche Erwartungen von der ersten MATLAB-Implementierung der Distanzfehlerberechnung schließt unsere Diskussion ab.

### References /Literatur:

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., "*Numerik*", Springer-Spektrum (2019).

## **Talk 3: On distance dependence of sensor quality**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, September 10<sup>th</sup> 2021, 14:00 h, online**

We discuss some mathematical concepts (numerical and analytical in nature) which will be used throughout our studies of sensor quality's distance dependence:

- 1) Gaußian error propagation and non-linear optimization,
- 2) Euler 3D-rotations,
- 3) theory of distributions and
- 4) spline interpolation.

This will enhance our understanding of problems and their possible solutions we will run into in the forthcoming discussions.

## **Diskussion 3: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 10. September 2021, 14:00 Uhr, online**

Wir diskutieren einige mathematische Konzepte (numerischer und analytischer Natur), die während unserer ganzen Untersuchung der Distanzabhängigkeit der Sensorqualität von Nutzen sein werden:

- 1) Gaußsche Fehlerfortpflanzung und nicht-lineare Optimierung,
- 2) Eulersche 3D-Rotationen,
- 3) Distributionentheorie und
- 4) Spline-Interpolation.

Dies wird unser Verständnis von Problemen und deren Lösungen erhöhen, denen wir im Rahmen bevorstehender Diskussionen begegnen werden.

### **References /Literatur:**

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., "*Numerik*", Springer-Spektrum (2019).

## Talk 4: On distance dependence of sensor quality

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, September 24<sup>th</sup> 2021, 14:00 h, online

We discuss the performance of the MATLAB module „DeltaZestimator.m“ and outline an algorithm for mitigating its overshooting z-error estimates.

We intend to tackle this question and its critical issues from three different perspectives:

- 1) the perspective of a pixel resolution parameter  $N$  and its influence on distance measurements
- 2) the perspective of designing a corrective  $W$ -factor that corrects overshoots and
- 3) the perspective of iterative updates of computed  $W$ -factors for each new  $N$ -values

All preliminary results and gathered raw data samples will be briefly described. This will allow us to look beyond the scope of current problems and envision possible future software implementations of desired distance inaccuracy estimates.

## Diskussion 4: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 24. September 2021, 14:00 Uhr, online

Wir diskutieren das Verhalten des MATLAB-Moduls „DeltaZestimator.m“ und stellen einen Algorithmus zur Korrektur seiner zu hohen z-Fehlerabschätzungen vor.

Diese Frage und ihre kritischen Aspekte beabsichtigen wir aus drei Blickwinkeln zu beleuchten:

- 1) der Perspektive der Pixel-Auflösung  $N$  und seines Einflusses auf Distanzmessungen,
- 2) der Perspektive des korrigierenden  $W$ -Faktors zur Einengung unrealistischer z-Fehlerabschätzungen und
- 3) der Perspektive des iterativen Aktualisierens berechneter  $W$ -Faktoren für jeden neuen  $N$ -Wert.

Alle vorläufigen Ergebnisse und aufgenommenen rohen Daten werden kurz beschrieben. Dies wird uns ermöglichen, über den Tellerrand aktueller Problemstellungen hinaus zu schauen und mögliche künftigen Softwareimplementierungen erwünschter Distanzungenauigkeitsberechnungen anzuvisieren.

### **References /Literatur:**

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., „*Numerik*“, Springer-Spektrum (2019).

## Talk 5: On distance dependence of sensor quality

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, October 1<sup>st</sup> 2021, 14:00 h, online

We address the MATLAB-implementation of the W-algorithm designed to correct overshooting estimates of experimental distance errors between a camera and an IR tracker along the camera's z-axis, encountered when using the „DeltaZestimator.m“ module.

There are two major conclusions to be drawn:

- 1) The W-algorithm leads to reliable and more realistic estimates of z-distance errors that reflect measured distance errors in a satisfactory manner;
- 2) The W-algorithm and all findings obtained so far may be used as a benchmark model when extending the functionality of the MATLAB-module to IR-trackers tilted along one of the three Euler rotation axes.

All important implications of obtained results will be discussed.

## Diskussion 5: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 1 Oktober 2021, 14:00 Uhr, online

Wir diskutieren die MATLAB-Implementation des W-Algorithmus', der das Overshooting bei der Schätzung von Distanzfehlern zwischen einer Kamera und einem IR-Tracker entlang der Kameras z-Achse korrigieren sollte, das bei der Benutzung des „DeltaZestimator.m“-Moduls.

Zwei Hauptschlussfolgerungen lassen sich ziehen:

- 1) Der W-Algorithmus liefert zuverlässige und realistischere Schätzungen von z-Distanzfehlern, die experimentelle Distanzfehler zufriedenstellend charakterisieren;
- 2) Der W-Algorithmus und alle bisherigen Befunde können als Benchmark-Modell benutzt werden, um die Funktionalität des MATLAB-Moduls auf um eine von drei Eulerschen Rotationsachsen gedrehte IR-Tracker zu verallgemeinern.

Alle wichtigen Implikationen erhaltener Ergebnisse werden angesprochen.

### References /Literatur:

- [1] Papula L., „Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., "Numerik", Springer-Spektrum (2019).
- [3] Knorrenschild, M., "Numerische Mathematik - Eine beispielorientierte Einführung", HANSER-Verlag, 6. Auage (2017).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., "Mathematical Modeling and Applied Calculus", Oxford University Press (2018).

## **Talk 6: On distance dependence of sensor quality**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim**

**Friday, October 8<sup>th</sup> 2021, 14:00 h, online**

We address possible future research directions based on our current benchmark model and its MATLAB-module „DeltaZestimator.m“ for estimating distance errors between a camera and an IR tracker along the camera's z-axis.

There are two major paths along which future research could be steered:

- 1) Enhance the current benchmark model by enlarging parameter ranges or introducing new parameters;
- 2) Go beyond the benchmark model by introducing dynamics (tracker rotations or camera translations) into the picture.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## **Diskussion 6: Über Distanzabhängigkeit der Sensorqualität**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim**

**Freitag, 8. Oktober 2021, 14:00 Uhr, online**

Wir diskutieren mögliche künftige Forschungsrichtungen basierend auf unserem gegenwärtigen Benchmark-Modell und seinem MATLAB-Modul „DeltaZestimator.m“ zur Schätzung von Distanzfehlern zwischen einer Kamera und einem IR-Tracker entlang der Kameras z-Achse.

Zwei Hauptpfade bieten sich an, entlang denen die künftige Forschungsaktivität verlaufen könnte:

- 1) Erweitere das gegenwärtige Benchmark-Modell durch Vergrößerung von Wertebereichen der Parameter oder Einführung neuer Parameter;
- 2) Gehe über das Benchmark-Modell hinaus durch Einführung von Dynamik (rotierende Tracker oder Kameratranslationen) ins Gesamtbild.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsschwerpunkte werden angesprochen.

### **References /Literatur:**

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., „*Numerik*“, Springer-Spektrum (2019).
- [3] Knorrenschild, M., „*Numerische Mathematik - Eine beispielorientierte Einführung*“, HANSER-Verlag, 6. Auflage (2017).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., „*Mathematical Modeling and Applied Calculus*“, Oxford University Press (2018).

## Talk 7: Bayesian Inference of Calibration Methods

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, April 8<sup>st</sup> 2022, 13:00 h, online

We address the results of Bayesian inference performed on differences between values of internal camera parameters (such as focal point, principal axis and distortion) calibrated by means of a GML and a robotic OpenCV software separately.

There are two major questions that need to be answered:

- 1) What is the degree of statistical significance when referring to differences between camera calibration results obtained by the GML and the OpenCV software currently used by the robotic agent?
- 2) How »similar« (in a statistical sense) are the GML-induced estimates of camera parameters to those deduced by the robot's OpenCV software?

All important implications of possible research issues will be discussed.

## Diskussion 7: Bayes'sche Inferenz von Kalibriermethoden

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 8. April 2022, 13:00 Uhr, online

Wir befassen uns mit den Ergebnissen der Bayes'schen Inferenz, die für die Unterschiede zwischen den Werten der internen Kameraparameter (wie Brennpunkt, Hauptachse und Verzerrung) durchgeführt wurde, die mit Hilfe einer GML- und einer OpenCV-Robotiksoftware kalibriert wurden.

Es gibt zwei wichtige Fragen, die beantwortet werden müssen:

- 1) Wie hoch ist der Grad der statistischen Signifikanz der Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Kamerakalibrierung mit der GML- und der OpenCV-Software, die derzeit vom Roboter verwendet wird?
- 2) Wie »ähnlich« (im statistischen Sinne) sind die GML-induzierten Schätzungen der Kameraparameter denen, die von der OpenCV-Software des Roboters abgeleitet wurden?

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### **References /Literatur:**

- [1] Papula L., „*Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*“, Vieweg-Verlag (2001).
- [2] Meister A. / Sonar T., "*Numerik*", Springer-Spektrum (2019).
- [3] Knorrenschild, M., "*Numerische Mathematik - Eine beispielorientierte Einführung*", HANSER-Verlag, 6. Auflage (2017).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., "*Mathematical Modeling and Applied Calculus*", Oxford University Press (2018).
- [5] Tschirk, W.: »*Statistik: Klassisch oder Bayes*«, Springer (2014).



## **Talk 8: nexonar Calibration Analyzer (nCA)**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, October 14<sup>th</sup> 2022, 13:00 h, online**

A robust and swift camera calibration represents the paramount objective of soft2tec GmbH's approach towards providing its customers with ISO-standardized infra-red (IR) cameras in the course of their numerous projects connected with process monitoring and control. In order to facilitate these endeavours the nexonar Calibration Analyzer (nCA) has been designed.

We address the features of the nCA and its application before focussing on future projects aimed at streamlining and automatizing our camera calibration and validation protocols as much as possible.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## **Diskussion 8: nexonar Calibration Analyzer (nCA)**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 14. Oktober 2022, 13:00 Uhr, online**

Eine robuste und schnelle Kamerakalibrierung ist das oberste Ziel der soft2tec GmbH, wenn es darum geht, ihren Kunden ISO-standardisierte Infrarot (IR)-Kameras für ihre zahlreichen Projekte in der Prozessüberwachung und -steuerung zur Verfügung zu stellen. Um diese Bestrebungen zu unterstützen, wurde der nexonar Calibration Analyzer (nCA) entwickelt.

Wir gehen auf die Merkmale des nCA und seine Anwendung ein, bevor wir uns auf zukünftige Projekte konzentrieren, die darauf abzielen, unsere Kamerakalibrierungs- und Validierungsprotokolle so weit wie möglich zu rationalisieren und zu automatisieren.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### **References /Literatur:**

- [1] Steinkamp, V., "Der Python-Kurs für Ingenieure und Naturwissenschaftler" and "Mathematische Algorithmen mit Python", Rheinwerk Technik. (2020).
- [2] Gezerlis, A., "Numerical Methods in Physics with Python", Cambridge University Press (2020).
- [3] Müller, A. C. / Guido, S., "Introduction to Machine Learning with Python", O'Reilly (2016).
- [4] Willman, J. M., "Beginning PyQt: A Hands-on Approach to GUI Programming", Apress (2020).
- [5] Fitzpatrick, M., "Create Simple GUI Applications with Python and Qt5 ", Learnpub (2019).
- [6] Szeliski, R., "Computer Vision - Algorithms and Applications ", Springer, 2nd Ed (2022).

## Talk 9: Euler Angle Dependence of pixel values

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, December 16<sup>th</sup> 2022, 13:00 h, online

We address the explicit dependence of the number of IR tracker-pixels  $p$  detected by an IR camera on distances along its  $z$ -axis as well as different Euler angles describing the inclination of an IR tracker diode with respect to the camera's field of view (FOV) (the case of tilted static trackers). The following questions will be answered:

- 1) What is the functional dependence of  $p$  on  $z$  and the three Euler angles?;
- 2) How are validity ranges of Euler angles altered with respect to changing  $z$ -distances between a camera and a tracker, focal length values of an IR lens and shutter values of an IR camera?;
- 3) How does the MATLAB-implementation of  $p$  along the camera's  $z$ -axis change when taking account of the explicit Euler angle dependence?

All important implications of obtained results will be discussed and some future research possibilities will also be outlined.

## Diskussion 9: Eulerwinkelabhängigkeit der Pixelwerte

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Schäfergasse 4, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 16. Dezember 2022, 13:00 Uhr, online

Wir befassen uns mit der expliziten Abhängigkeit der Anzahl der von einer IR-Kamera detektierten IR-Tracker-Pixel  $p$  von Entfernungen entlang der  $z$ -Kameraachse sowie von verschiedenen Euler-Winkeln, die die Neigung einer IR-Tracker-Diode in Bezug auf das Sichtfeld (FOV) der Kamera beschreiben (der Fall geneigter statischer Tracker). Die folgenden Fragen sollen beantwortet werden:

- 1) Wie ist die funktionale Abhängigkeit von  $p$  von  $z$  und den drei Eulerwinkeln?
- 2) Wie verändern sich die Gültigkeitsbereiche der Euler-Winkel bei wechselnden  $z$ -Distanzen zwischen Kamera und Tracker, Brennweitenwerten eines IR-Objektivs und Shutterwerten einer IR-Kamera?
- 3) Wie verändert sich die MATLAB-Implementierung von  $p$  entlang der  $z$ -Achse der Kamera, wenn die explizite Eulerwinkel-Abhängigkeit berücksichtigt wird?

Alle wichtigen Implikationen der erzielten Ergebnisse werden diskutiert und einige zukünftige Forschungsmöglichkeiten werden ebenfalls skizziert.

### **References /Literatur:**

- [1] Kilty, J. / McAllister, A. M., "*Mathematical Modeling and Applied Calculus*", Oxford University Press (2018).
- [2] Balaneskovic, N.: „*Estimation of Camera Distance Errors*“, s2t-Verlag (2021), Google Drive: [https://drive.google.com/file/d/1GVZk8Ov\\_CyiFtaZDvjQ0qeVeMGCTqBbz/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1GVZk8Ov_CyiFtaZDvjQ0qeVeMGCTqBbz/view?usp=sharing)
- [3] Balaneskovic, N.: „*Camera Validation Measurements*“, s2t-Verlag (2021), Google Drive: [https://drive.google.com/file/d/1GVZk8Ov\\_CyiFtaZDvjQ0qeVeMGCTqBbz/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1GVZk8Ov_CyiFtaZDvjQ0qeVeMGCTqBbz/view?usp=sharing)

## Talk 10: An optimized infra-red tracker design – Flower Trackers

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, May 26<sup>th</sup> 2023, 13:00 h, online

Infra-red (IR) trackers are central hardware components of the nexonar motion tracking system. Their construction (design) therefore follows strictly regulated patterns and specifications associated with appropriate placement of IR diodes along the three Euclidean space axes spanning the rigid tracker body.

Current nexonar IR trackers utilize the so called »cross-like« planar structure of diode placement [1,7] which deliberately breaks spherical symmetry by

1. requiring their two planar cross-axes to have different lengths,
2. elevating one of the diodes along the vertical tracker-axis (the dome diode) compared to the constant height of all remaining planar tracker diodes and
3. selecting different spacings between subsets of planar IR diodes.

In this talk we will demonstrate from the mathematical standpoint that the above three tracker design requirements breaking the perfect spherical symmetry of diode placements may be viewed as special features of the so-called elliptic tracker models (»flower trackers«). These »flower«-like tracker designs emerge as a result of basic mathematical optimization procedures aiming at minimizing errors of measured real distances between tracker diodes and an IR camera overlooking them.

Based on results of the performed optimization analysis it will be argued that »flower trackers« offer an improved design structure of placements of IR diodes along the three Euclidean tracker axes, thus ensuring minimal errors of measured real distances between an IR tracker and an IR camera monitoring it.

All important implications of possible research issues will be discussed.

### **References /Literatur:**

- [1] Balaneskovic , N. (Ed), »Nexonar AssemblyScout UserManual V1.35« (2023).
- [2] Zeuge, W., »Nützliche und schöne Geometrie«, Springer (2018).
- [3] Meister A. / Sonar, T., »Numerik«, Springer-Spektrum (2019).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., "Mathematical Modeling and Applied Calculus", Oxford University Press (2018).
- [5] Agarwal, Ravi P. / Flaut, C. / O'Regan, D., »An Introduction to Real Analysis«, CRC Press (2018).
- [6] Kline, M. »Calculus - An Intuitive and Physical Approach«, Dover (1998).
- [7] Balaneskovic, N., „Optimized Infra-red Tracker Design“, s2t Journal Vol. 1 (04/2023).

# Diskussion 10: Optimierte Infra-Rot-Trackerdesign – Flower Tracker

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 26. May 2023, 13:00 Uhr, online

Infrarot-Tracker (IR-Tracker) sind zentrale Hardwarekomponenten des nexonar-Bewegungserfassungssystems. Ihre Konstruktion (Design) folgt daher streng geregelten Mustern und Spezifikationen, die mit einer geeigneten Platzierung der IR-Dioden entlang der drei euklidischen Raumachsen verbunden sind, die den starren Trackerkörper umspannen. Aktuelle nexonar IR-Tracker verwenden die so genannte "kreuzförmige" planare Struktur der Diodenplatzierung [1,7], die absichtlich die sphärische Symmetrie bricht, indem

1. ihre beiden planaren Querachsen unterschiedliche Längen haben,
2. eine der Dioden entlang der vertikalen Tracker-Achse (die Dome-Diode) im Vergleich zur konstanten Höhe aller übrigen planaren Tracker-Dioden erhöht wird und
3. unterschiedliche Abstände zwischen Teilmengen von planaren IR-Dioden gewählt werden.

In diesem Vortrag werden wir vom mathematischen Standpunkt aus zeigen, dass die drei oben genannten Anforderungen an das Tracker-Design, die die perfekte sphärische Symmetrie der Diodenanordnung brechen, als besondere Merkmale der so genannten elliptischen Tracker-Modelle ("Flower-Tracker") angesehen werden können. Diese "Blumen"-ähnlichen Tracker-Designs sind das Ergebnis grundlegender mathematischer Optimierungsverfahren, die darauf abzielen, die Fehler der gemessenen realen Abstände zwischen den Tracker-Dioden und einer sie überblickenden IR-Kamera zu minimieren.

Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Optimierungsanalyse wird argumentiert, dass "Blumen-Tracker" eine verbesserte Design-Struktur der Platzierung von IR-Dioden entlang der drei Euklidischen Tracker-Achsen bieten und somit minimale Fehler der gemessenen realen Abstände zwischen einem IR-Tracker und einer IR-Kamera, die ihn überwacht, gewährleisten.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

## **References /Literatur:**

- [1] Balaneskovic , N. (Ed), »Nexonar AssemblyScout UserManual V1.35« (2023).
- [2] Zeuge, W., »Nützliche und schöne Geometrie«, Springer (2018).
- [3] Meister A. / Sonar, T., »Numerik«, Springer-Spektrum (2019).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., "Mathematical Modeling and Applied Calculus", Oxford University Press (2018).
- [5] Agarwal, Ravi P. / Flaut, C. / O'Regan, D., »An Introduction to Real Analysis«, CRC Press (2018).
- [6] Kline, M. »Calculus - An Intuitive and Physical Approach«, Dover (1998).
- [7] Balaneskovic, N., „Optimized Infra-red Tracker Design“, s2t Journal Vol. 1 (04/2023).

## Talk 11: Improved Prime Number Generation

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, June 30<sup>th</sup> 2023, 13:00 h, online

We propose an algorithm for prime number generation making use of the iterative, randomized  $k$ -fold application of number theoretic functions (NTF) to a given initial natural number  $n$  (with  $k > 0$  itself being a natural number).

The algorithm's optimal threshold number  $0 < r < 1$ , which controls which NTF will be (randomly) applied to  $n$  within each iteration step, is calculated and its algorithmic complexity  $O(\sqrt{n})$  is discussed in detail.

This randomized NTF-algorithm offers a robust and fast iterative prime number generation which may be prepended to each encryption algorithm which explicitly requires prime number inputs.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## Diskussion 11: Verbesserte Primzahlerzeugung

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 30. Juni 2023, 13:00 Uhr, online

Wir schlagen einen Algorithmus zur Primzahlerzeugung vor, der die iterative, randomisierte  $k$ -fache Anwendung von zahlentheoretischen Funktionen (ZTF) auf eine gegebene natürliche Ausgangszahl  $n$  (wobei  $k > 0$  selbst eine natürliche Zahl ist) verwendet.

Die optimale Schwellenzahl des Algorithmus  $0 < r < 1$ , die steuert, welche ZTF in jedem Iterationsschritt (zufällig) auf  $n$  angewandt wird, wird berechnet und seine algorithmische Komplexität  $O(\sqrt{n})$  wird im Detail diskutiert.

Dieser randomisierte ZTF-Algorithmus bietet eine robuste und schnelle iterative Primzahlerzeugung, die jedem Verschlüsselungsalgorithmus vorangestellt werden kann, der explizit Primzahleneingaben erfordert.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### References /Literatur:

- [1] Scheid H. / Frommer, A., „Zahlentheorie“, Springer-Spektrum, 4. Auflage (2013).
- [2] Meister A. / Sonar T., "Numerik", Springer-Spektrum (2019).
- [3] Lang, H. W., „Kryptographie für dummies“, WILEY VCH (2018).
- [4] Kilty, J. / McAllister, A. M., "Mathematical Modeling and Applied Calculus", Oxford University Press (2018).
- [5] Steinkamp, V., „Der Python-Kurs für Ingenieure und Naturwissenschaftler“, Rheinwerk-Verlag, 1. Auflage (2021).

## **Talk 12: nexonar Calibration Analyzer (nCA) v2.0**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, November 17<sup>th</sup> 2023, 13:00 h, online**

A robust and swift camera calibration represents the paramount objective of soft2tec GmbH's approach towards providing its customers with ISO-standardized infra-red (IR) cameras in the course of their numerous projects connected with process monitoring and control. In order to facilitate these endeavours the nexonar Calibration Analyzer (nCA) has been designed.

We address the features of the nCA v2.0 and its application before focussing on future projects aimed at streamlining and automating our camera calibration and validation protocols as much as possible.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## **Diskussion 12: nexonar Calibration Analyzer (nCA) v2.0**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 17. November 2023, 13:00 Uhr, online**

Eine robuste und schnelle Kamerakalibrierung ist das oberste Ziel der soft2tec GmbH, wenn es darum geht, ihren Kunden ISO-standardisierte Infrarot (IR)-Kameras für ihre zahlreichen Projekte in der Prozessüberwachung und -steuerung zur Verfügung zu stellen. Um diese Bestrebungen zu unterstützen, wurde der nexonar Calibration Analyzer (nCA) entwickelt.

Wir gehen auf die Merkmale des nCA v2.0 und seine Anwendung ein, bevor wir uns auf zukünftige Projekte konzentrieren, die darauf abzielen, unsere Kamerakalibrierungs- und Validierungsprotokolle so weit wie möglich zu rationalisieren und zu automatisieren.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### **References /Literatur:**

- [1] Steinkamp, V., „Der Python-Kurs für Ingenieure und Naturwissenschaftler" and "Mathematische Algorithmen mit Python", Rheinwerk Technik. (2020).
- [2] Gezerlis, A., „Numerical Methods in Physics with Python“, Cambridge University Press (2020).
- [3] Müller, A. C. / Guido, S., „Introduction to Machine Learning with Python“, O'Reilly (2016).
- [4] Willman, J. M., "Beginning PyQt: A Hands-on Approach to GUI Programming", Apress (2020).
- [5] Fitzpatrick, M., „Create Simple GUI Applications with Python and Qt5“, Learnpub (2019).
- [6] Szeliski, R., "Computer Vision - Algorithms and Applications ", Springer, 2nd Ed (2022).

## **Talk 13: nexonar Calibration Analyzer (nCA) v3.0**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Friday, June 07<sup>th</sup> 2024, 13:00 h, online**

A robust and swift camera calibration represents the paramount objective of soft2tec GmbH's approach towards providing its customers with ISO-standardized infra-red (IR) cameras in the course of their numerous projects connected with process monitoring and control. In order to facilitate these endeavours the nexonar Calibration Analyzer (nCA) has been designed.

We address the features of the nCA v3.0 and its application before focussing on future projects aimed at streamlining and automating our camera calibration and validation protocols as much as possible.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## **Diskussion 13: nexonar Calibration Analyzer (nCA) v3.0**

**Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Freitag, 07. Juni 2024, 13:00 Uhr, online**

Eine robuste und schnelle Kamerakalibrierung ist das oberste Ziel der soft2tec GmbH, wenn es darum geht, ihren Kunden ISO-standardisierte Infrarot (IR)-Kameras für ihre zahlreichen Projekte in der Prozessüberwachung und -steuerung zur Verfügung zu stellen. Um diese Bestrebungen zu unterstützen, wurde der nexonar Calibration Analyzer (nCA) entwickelt.

Wir gehen auf die Merkmale des nCA v3.0 und seine Anwendung ein, bevor wir uns auf zukünftige Projekte konzentrieren, die darauf abzielen, unsere Kamerakalibrierungs- und Validierungsprotokolle so weit wie möglich zu rationalisieren und zu automatisieren.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### **References /Literatur:**

- [1] Steinkamp, V., „Der Python-Kurs für Ingenieure und Naturwissenschaftler" and "Mathematische Algorithmen mit Python", Rheinwerk Technik. (2020).
- [2] Gezerlis, A., „Numerical Methods in Physics with Python“, Cambridge University Press (2020).
- [3] Müller, A. C. / Guido, S., „Introduction to Machine Learning with Python“, O'Reilly (2016).
- [4] Willman, J. M., "Beginning PyQt: A Hands-on Approach to GUI Programming", Apress (2020).
- [5] Fitzpatrick, M., „Create Simple GUI Applications with Python and Qt5“, Learnpub (2019).
- [6] Szeliski, R., "Computer Vision - Algorithms and Applications ", Springer, 2nd Ed (2022).

## Talk 14: Bayesian Calibration Comparisons and Lens Analysis

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Monday, January 27<sup>th</sup> 2025, 09:00 h, online / on site

A robust and swift camera calibration represents the paramount objective of soft2tec GmbH's approach towards providing its customers with ISO-standardized infra-red (IR) cameras in the course of their numerous projects connected with process monitoring and control. In order to facilitate these endeavours we

1. present a new experimental algorithm for image gathering with 25 mm-cameras prior to their calibration;
2. discuss latest results of camera tests performed with new lens-filter combinations;
3. present quantitative comparisons between calibration results obtained via GML and the Open CV module within the robot's GUI.

We address central conclusions before focussing on future projects aimed at streamlining and automating our camera calibration and validation protocols as much as possible.

All important implications of possible research issues will be discussed.

## Diskussion 14: Bayes'sche Kalibriervergleiche und Linsenanalyse

Nenad Balaneskovic, Laboratory for Advanced Research  
soft2tec GmbH, Darmstädter Straße 59, D-65428 Rüsselsheim  
Montag, 27. Januar 2025, 09:00 Uhr, online / vor Ort

Eine robuste und schnelle Kamerakalibrierung ist das oberste Ziel der soft2tec GmbH, um ihren Kunden ISO-standardisierte Infrarotkameras für ihre zahlreichen Projekte im Bereich der Prozessüberwachung und -steuerung zur Verfügung zu stellen. Um diese Bestrebungen zu erreichen,

1. stellen wir einen neuen experimentellen Algorithmus für die Bildaufnahme mit 25-mm-Kameras vor deren Kalibrierung vor;
2. diskutieren wir die neuesten Ergebnisse von Kamertesten mit neuen Objektiv-Filter-Kombinationen;
3. stellen wir quantitative Vergleiche zwischen Kalibrierungsergebnissen vor, die mit GML und dem Open CV-Modul in der Roboter-GUI erzielt wurden.

Wir sprechen zentrale Schlussfolgerungen an, bevor wir uns auf zukünftige Projekte konzentrieren, die darauf abzielen, unsere Kamerakalibrierungs- und Validierungsprotokolle so weit wie möglich zu rationalisieren und zu automatisieren.

Alle wichtigen Implikationen möglicher Forschungsfragen werden diskutiert.

### References /Literatur:

- [1] Steinkamp, V., „Der Python-Kurs für Ingenieure und Naturwissenschaftler" and "Mathematische Algorithmen mit Python", Rheinwerk Technik. (2020).
- [2] Gezerlis, A., „Numerical Methods in Physics with Python“, Cambridge University Press (2020).
- [3] Müller, A. C. / Guido, S., „Introduction to Machine Learning with Python“, O'Reilly (2016).
- [4] Willman, J. M., "Beginning PyQt: A Hands-on Approach to GUI Programming", Apress (2020).
- [5] Fitzpatrick, M., „Create Simple GUI Applications with Python and Qt5“, Learnpub (2019).
- [6] Szeliski, R., "Computer Vision - Algorithms and Applications ", Springer, 2nd Ed (2022).
- [7] Tschirk, W., "Statistik: Klassisch oder Bayes", 1st Ed. Springer (2014).
- [8] Bailer-Jones, C. A. L., "Practical Bayesian Inference: A Primer for Physical Scientists", 1st Ed. Cambridge Univers. Press (2017).