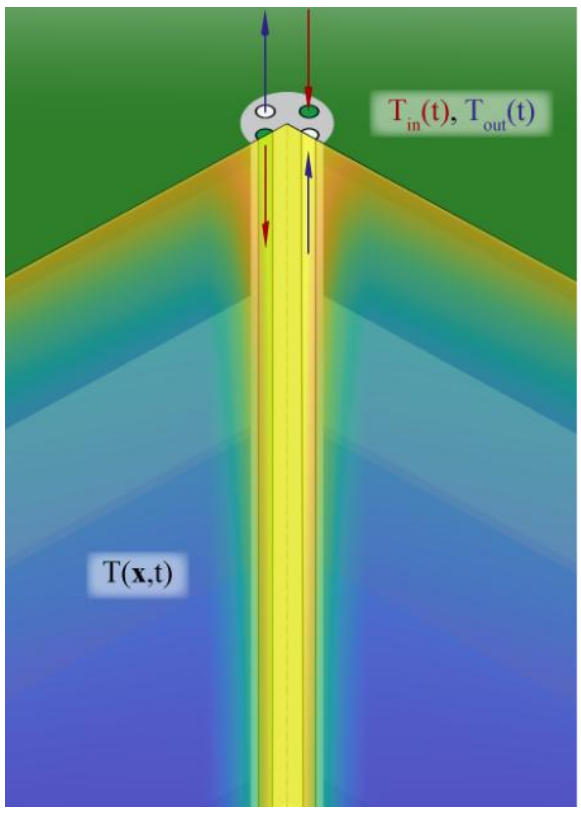
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

INSTITUT FÜR MECHANIK UND MECHATRONIK
Mechanics & Mechatronics

Announcement Diploma Thesis

Design and validation of a model-based state observer for geothermal probes for real-time temperature estimation

Content



Shallow geothermal energy is an important component of the transition to renewable energy. But what exactly happens at depths of up to 300 meters? We know the temperatures and mass flows at the inlet and outlet of geothermal probes, but the dynamic processes at depth remain hidden from us - yet these are crucial for the maximum efficiency and longevity of complex ground source heat pump systems.

In a previous study, a geothermal probe model was developed and used for system identification. The aim here is to use this as a basis for designing a state observer that estimates these “hidden” temperatures in real time. A particular focus is on robustness against parameter uncertainties (e.g., deviations of the real thermal conductivity $\boldsymbol{\lambda_{s,i}}$ from previously determined values).

Tasks

- **Model conversion:** Transformation of the existing model structure into a classic state space representation as the basis for the observer design.
- **Observer design**: Selection and implementation of a suitable observer concept (e.g., Kalman filter or Luenberger observer) in MATLAB.
- **Performance and robustness analysis**:
  - Analysis of convergence speed and optimization of observer parameters.
  - Investigation of performance in the event of parameter uncertainties (e.g. $\pm 10 - 20\%$ deviation in $\boldsymbol{\lambda_{s,i}}$).
  - Investigation of robustness with regard to sensor noise and signal failures.
- **Realistic load scenarios:** Evaluation of system response and observer quality in different operating modes of the geothermal probe (heating and cooling cases).
- **Experimental Validation**: Comparison of estimation results with real, depth-dependent measurement data (DTS fiber optics) from existing and new field tests.
- **Optimization of sensor placement**: Identification of the ideal number and depth of additional measurement points to maximize the observer's estimation accuracy.

Requirements

- Motivated student majoring in Mechanical Engineering, Industrial Engineering, Process Engineering, or Physics.
- Good knowledge of control engineering and enthusiasm for the subject area.
- Solid experience with MATLAB; interest in learning about toolboxes (e.g., System Identification or Control System Toolbox).
- Ability to work both independently and as part of a team in a structured manner.

The work can be written in German or English.
If you are interested or have questions, please do not hesitate to contact us.

Contact

Univ. Prof. Dr. Stefan Jakubek

E-Mail stefan.jakubek@tuwien.ac.at

Institute of Mechanics and Mechatronics
Division of Control and Process Automation E325-04
TU Wien, Getreidemarkt 9 BA / 6th floor, 1060 Vienna

Dipl.-Ing. Aleksandar Tubić

E-Mail aleksandar.tubic@tuwien.ac.at

Institute of Mechanics and Mechatronics
Division of Control and Process Automation E325-04
TU Wien, Getreidemarkt 9 BA / 6th floor, 1060 Vienna

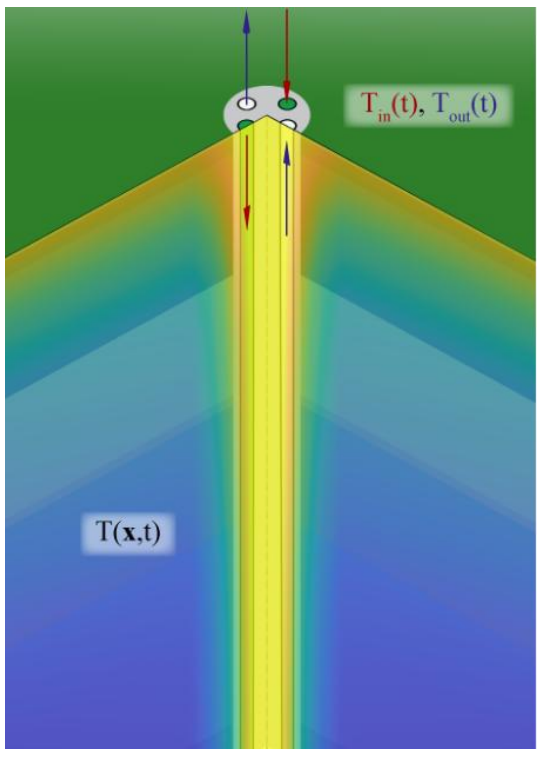
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

INSTITUT FÜR MECHANIK UND MECHATRONIK
Mechanics & Mechatronics

Ausschreibung Diplomarbeit

Entwurf und Validierung eines modellbasierten Zustandsbeobachters für Erdwärmesonden zur Echtzeit-Temperaturschätzung

Inhalt



Die oberflächennahe Geothermie ist ein wichtiger Baustein der Energiewende. Doch was genau passiert eigentlich in Tiefen bis zu 300 Metern? Wir kennen zwar die Temperaturen und Massenströme am Ein- und Austritt der Erdwärmesonden, aber die dynamischen Prozesse in der Tiefe bleiben uns verborgen – diese sind aber entscheidend für maximale Effizienz und Langlebigkeit von komplexen Erdwärmepumpenanlagen.

In einer vorangegangenen Arbeit wurde ein Erdwärmesonden-Modell entwickelt, welches für die Systemidentifikation verwendet wurde. Ziel dieser Arbeit ist es, darauf aufbauend einen Zustandsbeobachter (Observer) zu entwerfen, der diese "versteckten" Temperaturen in Echtzeit schätzt. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Robustheit gegenüber Parameterunsicherheiten (z. B. Abweichungen der realen Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{s,i}$ von zuvor ermittelten Werten).

Aufgaben

- **Modellüberführung**: Transformation der bestehenden Modellstruktur in eine klassische Zustandsraumdarstellung als Grundlage für den Observer-Entwurf.
- **Observer-Design**: Auswahl und Implementierung eines geeigneten Beobachterkonzepts (z. B. Kalman-Filter oder Luenberger-Beobachter).
- **Performance- & Robustheitsanalyse**:
  - Analyse der Konvergenzgeschwindigkeit und Optimierung der Beobachter-Parameter.
  - Untersuchung der Performance bei Parameterunsicherheiten (z. B. $\pm 10 - 20\%$ Abweichung bei $\lambda_{s,i}$).
  - Untersuchung der Robustheit gegenüber Sensorrauschen und Signalausfällen.
- **Realistische Lastszenarien**: Evaluierung der Systemantwort und Observer-Güte in unterschiedlichen Betriebsmodi der Erdwärmesonde (Heiz- und Kühlfall).
- **Experimentelle Validierung**: Vergleich der Schätzergebnisse mit realen, tiefenabhängigen Messdaten (DTS-Faseroptik) aus bestehenden und neuen Feldversuchen.
- **Optimierung der Sensorplatzierung**: Identifikation der idealen Anzahl und Tiefe zusätzlicher Messpunkte, um die Schätzgenauigkeit des Observers zu maximieren.

Ihr Profil

- Motivierte/r Student/in der Fachrichtungen Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen, Verfahrenstechnik oder Physik.
- Gute Kenntnisse in der Regelungstechnik sowie Begeisterung für das Fachgebiet.
- Solide Erfahrungen mit MATLAB; Interesse an der Einarbeitung in Toolboxen (z. B. System Identification oder Control System Toolbox).
- Fähigkeit sowohl im Team als auch selbstständig und strukturiert zu arbeiten.

Die Arbeit kann sowohl in Deutsch als auch in Englisch verfasst werden.
Bei Interesse oder bei Fragen können Sie uns gerne kontaktieren.

Kontakt

Univ. Prof. Dr. Stefan Jakubek

E-Mail stefan.jakubek@tuwien.ac.at

Institut für Mechanik und Mechatronik
Regelungstechnik und Prozessautomatisierung E325-04
TU Wien, Getreidemarkt 9 BA / 6. OG, 1060 Wien

Dipl.-Ing. Aleksandar Tubić

E-Mail aleksandar.tubic@tuwien.ac.at

Institut für Mechanik und Mechatronik
Regelungstechnik und Prozessautomatisierung E325-04
TU Wien, Getreidemarkt 9 BA / 6. OG, 1060 Wien