



**University of Stuttgart**  
**Institute of Industrial Automation and Software Engineering**

Prof. Dr.-Ing. M. Weyrich



26.10.2017

# **Master Thesis**

**Gadoh Kwao Hansel      2903 MT**

## **Development of Flexible System Controllers for Fuel Cell Control Systems**

**Supervisor: Prof. Dr.-Ing. M. Weyrich**  
**Benjamin Maschler, M.Sc.**  
**Steffen Poggel (DLR e.V.)**

## Zusammenfassung

Diese Masterarbeit ist Teil der Entwicklung eines modularen und anpassungsfähigen Prozeßleitsystems. Das Projekt zielt darauf ab, eine flexible Systemsteuerung aus einer Hauptplatine (Main Board) und einer funktional ausgerichteten Zusatzplatine (Auxiliary Board) zu entwickeln. Die Hauptplatine soll die Möglichkeit bieten, eine Zusatzplatine aufzunehmen und entsprechend ihrer Funktionalität anzusteuern. Die Funktionalität der Zusatzplatine wird über die darauf implementierten I/O-Schnittstellen definiert. Jeder Controller ist darauf ausgelegt, eine Netzwerkkommunikation mit einer unspezifischen Anzahl weiterer Controller durchzuführen. Somit kann ein komplexes Prozessleitsystem, etwa für ein Brennstoffzellensystem abgebildet werden. Die Einheit aus Main Board und Auxiliary Board wird als Control Board bezeichnet.

Das Main Board ist so konzipiert, dass es als Plattform für jedes Auxiliary Board dient. Das Main Board hat die Aufgabe, eine Netzwerkkommunikation mit anderen Einheiten durchzuführen, die Steueralgorithmen zu berechnen und entsprechende Befehle an das Auxiliary Board zu geben. Das Auxiliary Board hat die Aufgabe, intern mit dem Main Board zu kommunizieren, die Anweisungen des Main Boards auszuführen und dem Main Board Feedback zu melden.

Das Main Board ist darauf ausgelegt ein embedded Linux als Betriebssystem auszuführen. Dazu ist es mit folgenden Komponenten ausgestattet: ein ARM926 Mikroprozessor, einem externen SDRAM Speicher, integrierten Schaltkreisen für die Netzwerkkommunikation, einer Stromversorgungsschaltung mit Schutzfunktionen sowie weiteren Schaltkreisen, beispielsweise I/Os. Das Auxiliary Board ist mit einem Mikrocontroller und einigen Sensoren und Aktoren zur Demonstration der I/O-Schnittstellen ausgestattet. Die Flexibilität des Control Boards ist durch zwei Kommunikationsschnittstellen, CAN und Ethernet, sowie drei interne Bus-Schnittstellen, SPI, I2C und UART, gewährleistet. Somit kann das Control Board sowohl über CAN-Bus als auch Ethernet in ein Prozessleitsystem integriert werden. Das Main Board kann jedes Auxiliary Board aufnehmen, solange eine der oben genannten internen Schnittstellen auf dem Auxiliary Board verfügbar ist und der Formfaktor eingehalten wird.

Das Control Board mit einem definierten Formfaktor ist entwickelt. Die elektrischen Anforderungen an das Control Board und deren Sicherheitsschaltungen sind getestet. Die funktionalen Anforderungen des Control Board sind ebenfalls erfüllt. Die Linux-Distribution Arch Linux als Betriebssystem wurde demonstriert, Ethernet und UART als Netzwerk bzw. als interne Kommunikationsschnittstellen sind getestet. Die I/O-Schnittstellen auf dem Auxiliary Board sind zur Demonstration als Umweltsensor, Stromsensor und LEDs als Aktuatoren realisiert. Eine rudimentäre Software sowohl auf dem Main Board als auch auf dem Auxiliary Board wurde entwickelt um die Funktionalität der beiden Boards zu testen und zu demonstrieren.

Auch wenn der hier entwickelte Controller nicht zertifiziert oder als Endprodukt betrachtet werden soll, wurde der erste Schritt zur Entwicklung einer flexiblen und leistungsfähigen Systemsteuerung erreicht.

## Abstract

This master thesis is part of the development of a highly modular and adaptable distributed control system. It aims at developing a flexible system controller made of a standard main board and a functionally oriented auxiliary board. The main board is developed to provide the ability to connect and to instruct any auxiliary board for the execution of its intended functionality. The desired functionality of the auxiliary board is offered via the I/O Interfaces implemented on it. Each system controller is designed to perform network communication with an unspecified number of other controllers forming a distributed control system, e.g. a fuel cell control system. The system controller is practically referred to as the control board.

The main board is designed to serve as a standard computer platform for any auxiliary board. It is tasked to perform network communication with other nodes, compute the control algorithms and instruct the auxiliary board for the execution of the control instructions. The auxiliary board is tasked to internally communicate with the main board, execute the control instructions it receives and provide the necessary outcome of the execution to the main board.

To achieve its functional objective, the main board is designed as a mini-computer capable of running an embedded Linux operating system. It is developed with an ARM926 embedded microprocessor unit, an external memory, network communication integrated circuits, a power supply circuit and I/Os. The auxiliary board is developed with a microcontroller and with some sensors and actuators that are used to implement the I/O interfaces. The flexibility of the control board is provided through two network communication interfaces namely CAN-Bus and Ethernet and three internal serial communication interfaces namely SPI, I2C and UART. In this sense, the control board can be integrated in a distributed control system having CAN-Bus or Ethernet as the communication network. The main board can accommodate any auxiliary board as long as one of the above mentioned serial interfaces is available on the auxiliary board.

The control board is implemented with a defined form factor for both the main board and the auxiliary board. The electrical requirements of the control board are fulfilled and the functional requirements are tested. The basic functional requirements of the control board are fulfilled with Arch Linux as the embedded Linux operating system, and Ethernet and UART as the network and the internal communication interfaces respectively. The I/O interfaces are simply implemented on the auxiliary board with an environmental sensor and a current sensor and with LEDs serving as actuators. Rudimentary software is developed on both the main board and the auxiliary board to test and demonstrate the basic functionality of the system controller.

Even though this system controller is not to be certified or to be considered as a final product, the first step towards the development of a much more complex system controller is achieved.