

Realtime Datenmanagement des Brennstoffzellen-Forschungsschiffs der Hochschule Konstanz unter Verwendung von cRIO

Prof. Dr. Richard Leiner

HTWG-Konstanz, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Kurzfassung

Im Hinblick auf das sich immer größer werdende Problem der Energieversorgung wurde an der HTWG-Konstanz ein Forschungsschiff entwickelt, das außer mit Photovoltaic-Zellen auch mit Brennstoffzellen betrieben wird. Kernfrage des Forschungsvorhabens ist, in wieweit eine solche Kombination für Freizeit und Berufsschiffahrt sinnvoll ist. Hierzu muss das Langzeitverhalten der einzelnen Komponenten, auch in Kombination miteinander, analysiert werden. Die Basis hierzu stellt das Information-Management-System (IMS) dar, das in diesem Beitrag beschrieben wird. Die Anforderungen an das IMS sind vielseitig und äußerst komplex. Einerseits ist ein Echtzeit Mess-Steuer-Regelsystem zum Betrieb des Schiffes und zur Verarbeitung der rund neunzig Parameter notwendig, andererseits müssen periodisch die Messergebnisse über eine Funk-Kommunikation zur permanenten Speicherung im Institut gesendet werden, um für weitere Verarbeitungen zur Verfügung zu stehen. Die Unabhängigkeit vom Ort gewährleistet hierbei das Internet. Durch die vielen unterschiedlichen Aufgaben, Sensorsignale und Übertragungsverfahren entschied sich der Autor zur Verwendung des flexiblen cRIO-Systems. Die kompakte Modulbauweise kam dabei dem begrenzten Raumangebot des Schiffes entgegen. Als Mensch-Maschine-Schnittstelle dient ein Touchpanel Industrie-PC.

Abstract

In view of the increasing problem of energy supply, the HTWG-Konstanz developed a research boat powered by photovoltaic and fuel cells. The core question of the research project is, if such a combination represents a viable option for recreational and commercial boating. To answer this question, long-time performance-studies of each component by itself and in combination with others in marine environment are necessary. This article describes the Information-Management-System (IMS) which provides the basis for analysis. The requirements which the IMS has to fulfil are quite complex. On the one hand, a real-time control-system has to operate the boat and process roughly ninety parameters, on the other hand measured data has to be periodically transmitted to a data bank at the institute for further processing. Use of the Internet gives independence of location. Because of the great variety of tasks, sensor signals and transmission methods involved, the author opted for the flexible cRIO-system; its compact modules were also advantageous considering the limited space on board. An industrial touch panel PC serves as man-machine-interface.

Einführung

Regenerative Energien und deren Anwendung sind seit jeher eines der Hauptforschungsbereiche der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik an der HTWG Konstanz. Eines der ersten Solarboote der Welt, „Korona“, wurde schon 1988 in Betrieb genommen [1] und ist immer noch voll im Einsatz. Es besitzt einen Photovoltaic-Generator als Energiewandler und eine Batterie als Energiespeicher. Ein solches System kann, bedingt durch Wetteränderungen und der damit verbundenen schwankenden Einstrahlung, für einen Dauerbetrieb keine 100%ige Abdeckung des Energiebedarfs gewährleisten. Für einen

zuverlässigen Betrieb ist aber eine sichere Energielieferung unbedingt notwendig. Im Hinblick auf das immer größer werdende Problem der Energieversorgung, der Frage der Nachhaltigkeit und des CO₂-Ausstosses, wurde jetzt ein neues Forschungsschiff entwickelt, bei dem die Photovoltaik-Zellen (PV) durch mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen (BZ) ergänzt werden. Ein Regelkreis sorgt dafür, dass nur bei Bedarf die Brennstoffzellen zum Einsatz kommen. Die Kernfrage des Forschungsvorhabens ist, ob eine solche Kombination für Freizeit und Berufsschiffahrt (zB. Fähren) sinnvoll ist. Hierzu muss das Langzeit-Verhalten der Komponenten BZ, PV und Batterie im einzelnen und in Kombination miteinander analysiert werden. Um eine Basis für detaillierte Analysen zu schaffen, wurde ein Information-Management-System (IMS) entwickelt, das nicht nur für den Betrieb des Bootes zuständig ist, sondern auch ein intelligentes Energie- und Datenmanagement sowie Fernüberwachung und –diagnose durchführt. Dieser Beitrag beschreibt den on-board-Teil des IMS und gibt einen Ausblick auf noch anstehende Arbeiten.

Das PV-H2-Schiff „Solgenia“

Während das Solarboot Korona ein schwimmendes Experimental-Labor für Studierende darstellt, wurde das PV-H2-Schiff „Solgenia“ so konzipiert, dass vorwiegend kommerzielle Komponenten zum Einsatz kommen, um einen möglichst ungestörten Betrieb zu gewährleisten. Weiterhin sollte das Schiff vom Germanischen Lloyd zertifizierbar sein und optisch attraktiv aussehen, da es für Präsentationszwecke zur Verfügung stehen sollte. Das Schiff (Bild 1) basiert auf dem Aquabus 850 der Schiffsbau-Firma Mark Wüst [2] und wurde entsprechend unseren Vorgaben modifiziert.

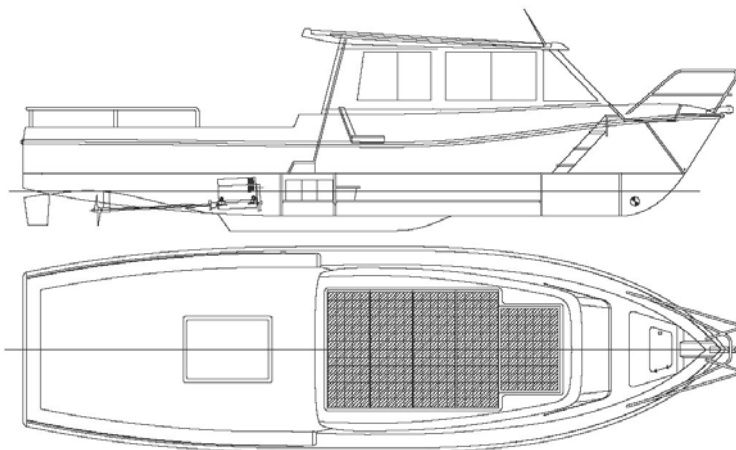


Bild 1: PV-H2-Schiff Solgenia

Das IMS der Solgenia ist ungleich komplexer als das des Vorgängers Korona. Insgesamt werden neunzig Parameter erfasst, die in Form von analogen Signalen (Spannung, Strom) sowie digitalen Signalen über RS-232, RS-485, CAN, NMEA, SLIP, I2C und Ethernet zur Verfügung stehen. Zusätzlich gibt es eine Funkverbindung für GPS, GPRS und WLAN. Die Komplexität des Systems, die Anforderung eines Real-Time-Verhaltens und die Vielfalt der Signalformen führte zu der Entscheidung, LabVIEW zusammen mit cRIO einzusetzen. Durch die Modulbauweise von cRIO ist eine Anpassung an die Komplexität der Signalformen möglich; ein FPGA sorgt für eine schnelle Signalverarbeitung. Zusätzlich kommt die kompakte Bauform dem begrenzten Platzangebot in einem Schiff entgegen. Ein weiteres Vorteil des modularen Aufbaus von cRIO liegt in der einfachen Erweiterbarkeit des Systems, was den Weg für zukünftige Projekte offen lässt.

Bild 2 zeigt das prinzipielle Blockschaltbild des IMS mit vereinfachter Signalführung. Der untere Bereich gibt die Energiekette wieder. Als Energie-Erzeuger dienen drei Brennstoffzellen (BSZ1-3) und ein PV-Generator. DC/DC-Wandler passen die jeweiligen Spannungen an die Batterie an. Der DC/DC-Wandler der Brennstoffzelle ist extern steuerbar, der des PV-Generators nicht, da er mittels eines Maximum-Power-Point-Regelkreises automatisch angepasst wird. Der vom Motor gezogene Strom wird entweder aus der Batterie gespeist, oder von PV bzw. BZ geliefert. Die Entscheidung hierüber macht das IMS basierend

auf dem Ladezustand der Batterie und der Einstrahlung auf die PV-Zellen.

Im oberen Teil von Bild 2 sind links die Antennen für GPS zur Positionsbestimmung und GSM bzw. WLAN für die Kommunikation zur Basisstation gezeigt. Es folgen die für den Schiffsführer üblichen Messaufnehmer.

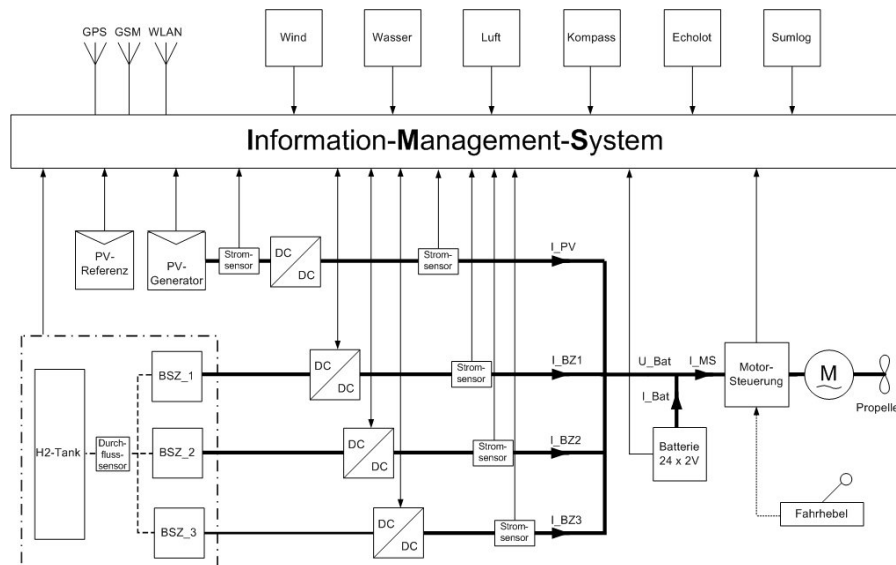


Bild 2: Prinzipielles Blockschaltbild des IMS

Aufgaben des IMS

- Display für Schiffsführer und Service
Von den 90 ermittelten Werten sind nur einige für den Schiffsführer von Interesse. Nur diese sollen als Anzeige zur Verfügung stehen. Alle weiteren Angaben sind für den Wissenschaftler oder Service bestimmt. Der Zugang hierzu wird über Passwort geregelt.
- Intelligentes Energiemanagement
„Nutze möglichst nur die kostenlose Sonnenenergie“! Um dieser Devise gerecht zu werden, muss die Fahrweise an den aktuellen Energieinhalt der Batterie und der Sonneneinstrahlung angepasst werden. Der Energieverbrauch eines Bootes steigt ungefähr mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit. Über die aktuelle Position (GPS) und der Entfernung zum gewünschten Ziel errechnet sich die benötigte Energie. Hieraus können dem Schiffsführer Vorschläge für ein energiebewusstes Fahrverhalten unterbreitet werden. In diese Grundberechnung können zusätzlich Windverhältnisse (Gegenwind, Rückenwind) und Strömung mit einbezogen werden. Letzteres ergibt sich aus der Differenz von GPS-Daten und mechanischem Geschwindigkeitsmesser (Sumlog). Auch prädiktive Verfahren sind denkbar, die die Wettervorhersage in Betracht ziehen (wird es Wolken geben, woher wird der Wind kommen etc). Erschwert werden die Berechnungen durch das komplexe Verhalten der Batterien; Überladung, Tiefenentladung etc. dürfen nicht vorkommen. Das System muss dafür sorgen, dass das Zuschalten der Brennstoffzellen entsprechend geregelt wird.
- Effizienz-Analyse der an der Energiekette beteiligten Komponenten
Von jeder Komponente der Energiekette werden Eingangs- und Ausgangsspannung bzw. -strom gemessen. Hieraus wird die Effizienz der Komponente und der gesamten Energiekette ermittelt. Überprüfung der theoretischen Angaben sind damit möglich.
- Kommunikation zu Datenbank an HTWG
Die Datenbank zur Speicherung aller Informationen befindet sich im Labor des Autors an der Hochschule. Das IMS der Solgenia muss periodisch die angesammelten Daten auf diese Datenbank übertragen. Dies geschieht entweder über WLAN, falls sich das Boot im Empfangsbereich des Zugangspunktes der Hochschule befindet, oder über GPRS unter Verwendung des Internets. Durch diese Kombination ist die Datenübertragung unabhängig vom Ort. Um die Gefahr eines ungebetenen Zugriffs zu verhindern, ist ein proprietäres Protokoll notwendig.

- Visualisierung der Daten im Internet
Die Verwertung der in der Datenbank gespeicherten Informationen geschieht auf zwei Arten: (1) Visualisierung der für die Allgemeinheit interessanten Daten in einer öffentlichen Webseite. Umweltangaben wie Wasser- und Lufttemperatur werden dabei ebenso in „Echtzeit“ angezeigt wie Position, Batteriestatus, Motordaten u.a. (2) Passwortgeschützter Zugriff auf alle Daten der Datenbank und Möglichkeit der graphischen Analyse ausgewählter Parameter. Dies ist nicht nur für die beteiligten Wissenschaftler interessant, sondern auch für die Partner, die die Komponenten des Schiffes geliefert haben (Brennstoffzellen, PV-Zellen, Batterien etc.).

Hardware-Realisierung des IMS

Die Basis des IMS bildet das cRIO-System, dessen Modulbauweise eine optimale Anpassung an die unterschiedlichen Signalformen ermöglicht. Als Mensch-Maschine-Schnittstelle dient ein 15-Zoll Industrie-PC mit Touchpanel und einer Bedieneroberflächen, die mit LabVIEW 8.2 kreiert wurden. Das hier beschriebene cRIO-System (Bild 3) besteht aus dem Controller, der für die zentrale Verarbeitung der Modulsignale verantwortlich ist und sieben Module, die einerseits Sensorsignale aufzunehmen, andererseits Steuersignale senden.

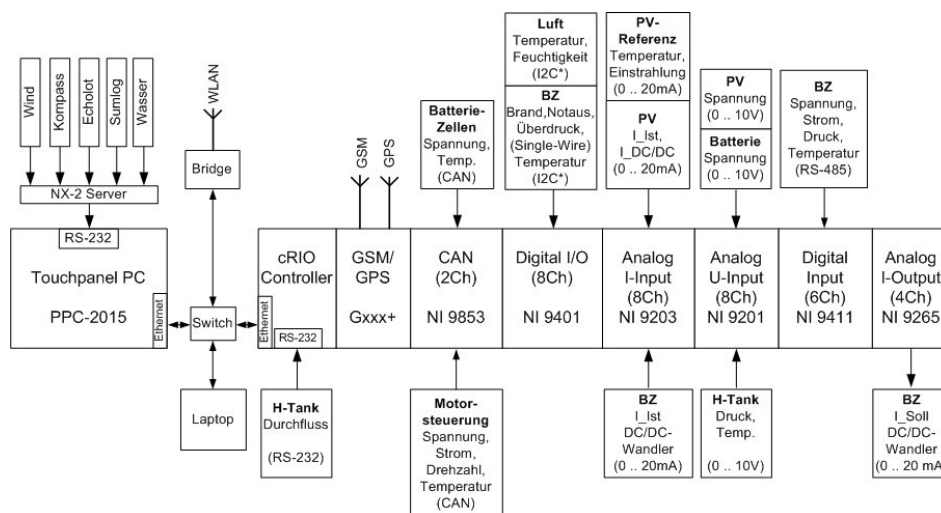


Bild 3: cRIO-System der Solgenia

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der Aufgaben der einzelnen Module:

- Gxxxplus
Dies ist ein Einschub der Firma S.E.A. Datentechnik. Er bietet (1) mittels einer SIM-Karte die Verbindung zum Internet über GPRS, (2) Uhrzeit und Position über GPS. Aus den GPS-Informationen wird die Geschwindigkeit über Grund errechnet.
- NI 9853
Die Batterie besteht aus 24 Zellen à 2 Volt. Zur Überprüfung des Verhaltens jeder einzelnen Zelle wird ihre Zellenspannung gemessen. Zusätzlich wird die Temperatur an vier verschiedenen Stellen des Batteriestapels aufgenommen. Spannung und Temperatur gehen in die Berechnung der Batteriekapazität ein. Die analogen Signale werden in einer eigenentwickelten Schaltung in digitaler Form gewandelt und über CAN-Bus an das Modul weitergeleitet. Weiterhin werden alle Daten des Motors und der Motorsteuerung über CAN-Bus diesem Modul zugeführt.
- NI 9401
Lufttemperatur und –feuchtigkeit werden von einem aktiven Multisensormodul in einem I²C-ähnlichen Format übertragen. Ein Taktsignal und Befehlssequenzen müssen dabei an den Sensor gesendet werden, um die gewünschten Informationen über Temperatur und Luftfeuchtigkeit abzurufen. Zusätzlich sind drei sicherheitsrelevante Signale (Brand, Notaus und H₂-Überdruck) vom Brennstoffzellen- bzw. Wasserstofftankraum angeschlossen, deren Status über Pegel definiert ist.
- NI 9203
Dieses Modul dient als Eingang für Temperatur und Einstrahlung der PV-Referenzzelle

sowie dem Stromausgang des PV-Generators und dessen DC/DC-Wandler. Die Informationen stehen als 0-20 mA Stromsignale an.

- NI 9201
Hier liegen die Spannung des PV-Generators, der Batterie sowie Temperatur- und Drucksensoren des Wasserstoff-Tanks an. Widerstandsteiler sorgen dabei für eine Begrenzung der maximalen Eingangsspannung.
- NI 9411
Die Brennstoffzellen liefern über eine RS-485-Leitung ein Signal, das die Information über Spannung, Strom, Temperatur und Druck enthält. Diese sind nach SLIP (Serial Line Internet Protocol, Internet RFC 1055) codiert und müssen entsprechend decodiert werden.
- NI_9265
Über die 0-20 mA Ausgänge dieses Moduls werden die Ströme der BZ eingestellt. Wie oben schon angedeutet, muss ein Regelsystem vorhanden sein, das entsprechend den Anforderungen dafür sorgt, dass die Batterie kontrolliert ge- bzw. entladen wird. Der angeforderte Motorstrom, gemessen mit Modul 9853, wird im günstigsten Fall vom PV-Generator geliefert. Reicht dieser nicht aus, wird die Batterie entladen. Fällt die Batteriespannung unter einen festgelegten Wert, werden entsprechend die Brennstoffzellen dazugeschaltet.

Das cRIO-System ist über eine Ethernet-Schnittstelle mit einem Switch als Verteiler verbunden. Der Industrie-PC wurde mit Touchpanel gewählt, damit keine Maus zur Bedienung der Menüs erforderlich ist. An den PC ist über die RS-232-Schnittstelle der NX2-Server angeschlossen, der im NMEA-Protokoll die Informationen bezüglich Windrichtung, Kompass, Wassertiefe, Geschwindigkeit über Wasser (Sumlog) und Wassertemperatur liefert. Aus der Differenz der Geschwindigkeiten von GPS und Sumlog errechnet sich die Strömungsgeschwindigkeit. Das WLAN stellt die direkte Verbindung zur HTWG her. Der Switch ermöglicht zusätzlich die Anschaltung eines Service-PCs.

LabVIEW-Realisierung des IMS

Die Software wurde mit LabVIEW 8.2 realisiert. Bei der Gestaltung der Menü-Oberflächen wurde großen Wert auf Einheitlichkeit und Übersichtlichkeit der Anzeigen gelegt. Bild 4 zeigt als Beispiel die Oberfläche „GPS“.



Bild 4: Menü „GPS“

Am linken Rand befinden sich, wie in allen Menüs, die Schaltflächen für die Hauptmenüs „Fahrer“, „GPS“ und „Service“. Der untere, eingerahmte Teil besteht aus Anzeigen, die für den Schiffsführer von besonderer Wichtigkeit sind und daher bei allen Haupt-Menüs vorhanden sind: Geschwindigkeitsanzeige, Kompass und Batterie. Die drei Balken in der Mitte zwischen Batterie-Ladestatus und -Spannung visualisieren die Energiebilanz. Der linke Balken besteht aus der Summe der Stromeinspeisung von BZ und PV (in unterschiedlichen Grüntönen), der mittlere Balken stellt den entnommenen Motorstrom dar (rot), und der rechte Balken zeigt den resultierenden Strom der Batterie. Ist der Balken grün und oberhalb der Linie, wird die Batterie geladen, ist der Balken rot und unterhalb der Linie, entladen. So bekommt der Schiffsführer eine klar und schnell erkennbare Darstellung der Energiebilanz am Energiespeicher (Batterie). Der rechte obere Teil zeigt die See-/Landkarte. Die Schiffposition wird über GPS ermittelt und in der Karte als Punkt dargestellt. Zur Markierung eines Ziels muss die Seekarte lediglich an der entsprechenden Stelle berührt werden; der Cursor springt auf diese Position und dessen Koordinaten sowie die Entfernung zur momentanen Position des Schiffes werden angezeigt. Hieraus ermittelt das intelligente Energiemanagement die benötigte Energie und gibt dem Schiffsführer entsprechende Anweisungen. Über Zoom- und Schiebe-Funktionen kann man die Position des Schiffes genauer anzeigen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eine professionelle Seekarte (Fugawi) per Taste aufzurufen, die genaue Angaben wie z.B. Wassertiefe, Seezeichen, Hafeneinfahrten etc. über das Revier vermittelt.

In den Service-Menüs werden Informationen über die einzelnen Komponenten PV, BZ, Motor und Batterie detailliert dargestellt. Da diese speziellen Menüs nur für Wissenschaftler oder Service interessant sind, wird über Passwortschutz sichergestellt, dass kein unbeabsichtigter Aufruf erfolgt. Auf eine genaue Beschreibung dieser Menüs wird hier verzichtet, da es den Rahmen des Beitrags sprengen würde.

Aktueller Stand und weitere Arbeiten

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Artikels (5. Mai 2007) ist die on-board Hardware komplett installiert. Die Software für Display und Regelung ist fertig. Diese Arbeiten wurden im Rahmen einer Master-Abschlussarbeit durchgeführt. An der Kommunikation zu dem Server an der HTWG laufen momentan Arbeiten im Rahmen eines Masterprojektes. Die Bearbeitung des intelligenten Energiemanagements ist für das Wintersemester 07 geplant. Weiterhin ist ein Masterprojekt geplant, bei dem, basierend auf LabVIEW CE, die oben beschriebenen Oberflächen über Funk (Bluetooth?) auf einem PDA angezeigt werden können.

Literaturangaben

- 1] C. Schaffrin: "The solar boat Korona: A photovoltaic powered system for use on Inland waters", 9. European Photovoltaic Energy Conference, Freiburg, 1988
- [2] <http://www.mwline.ch/>

Danksagung

Die Durchführung dieses Projektes wäre nicht möglich gewesen ohne die freundliche Unterstützung durch National Instruments Germany GmbH, S.E.A. Datentechnik GmbH, D-Link GmbH, IBJ-Konstanz und Eltima Software GmbH.