

Master Automatisierung (A-M-VPJ2 / WS2013-SS2014)

Verbundprojekt Fertigungsprozess mit Einsatz autonomer Transportfahrzeuge

Informationstechnik: Meiners/Huss

Regelungstechnik: Maaß/Holzhüter/Zeyn-Kranz

Energietechnik: Röther/Korpel

1. Allgemeines

Im Verbundprojekt sollen die Kenntnisse aus den Bereichen Informationstechnik, Regelungstechnik und Energietechnik in einer größeren Projektaufgabe zusammengeführt werden. Es wird ein automatisierter Fertigungsablauf unter Einsatz von mobilen Robotern mit Greifern, einer Werkstück-Identifizierung über RFID-Technologie mit Profibus-Anbindung sowie Datenbanktechnik zur Produktions-Steuerung implementiert. Als Software-Plattformen kommen CodeSys, ST, Matlab/Simulink mit xPC-Realtime-Target sowie SQL zum Einsatz. Den grundsätzlichen Aufbau zeigt die Abbildung 1.

2. Fertigungs-Schritte

Der Fertigungsprozess besteht aus mehreren Arbeitsschritten, die jeweils durch unterschiedliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Bearbeitungs-Stationen simuliert werden. Dabei werden Rohteile, Halbfertigteile und Fertigteile von den mobilen Robotern entsprechend dem Produktionsablauf zwischen den Lagern und den Bearbeitungs-Stationen transportiert. Es gibt vier Stationen:

1. Rohteile-Lager
2. Fertigungs-Station 1
3. Fertigungs-Station 2
4. Fertigteile-Lager

An den Stationen befinden sich Lese- und Schreibgeräte für RFID-Chips, mit denen die Werkstücke identifiziert werden können und die erfolgten Produktionsschritte auf dem Werkstück vermerkt werden können.

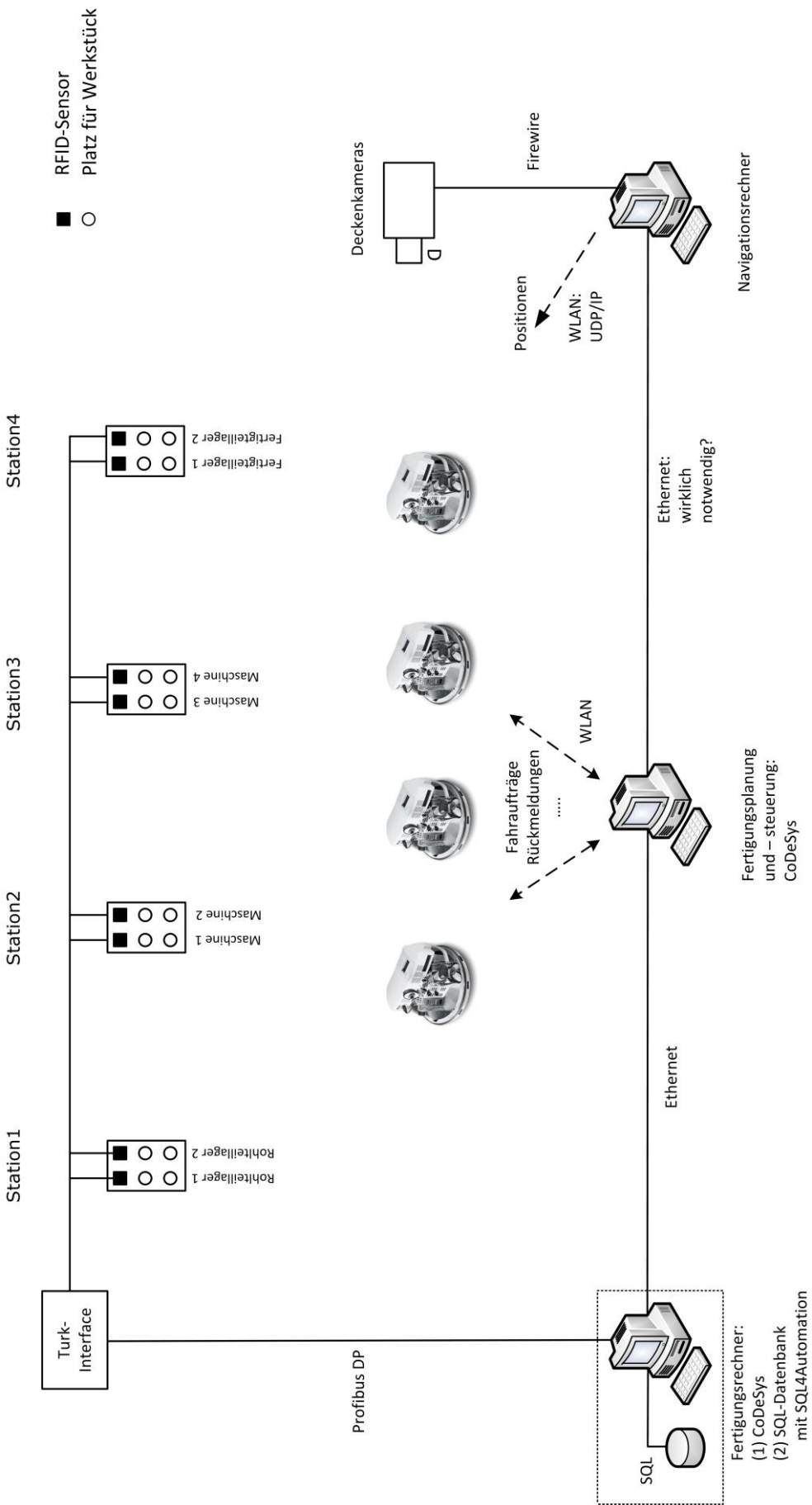
3. Mobile Roboter

Als autonome Transport-Fahrzeuge kommen vier omni-direktionale Roboter vom Typ Robotino zum Einsatz. Sie werden über WLAN von einem Entwicklungs-Rechner als Matlab-XPC-Targets betrieben.

Die Roboter sind mit einem PC-104-Board und einer Sensor/Aktor-Karte ausgestattet, die auch das Einlesen von analogen Werten z.B. zur Spannungs- und Belastungs-Überwachung der Batterie-gestützten Stromversorgung gestattet.

Von einem separaten Navigations-Rechner erhalten die Roboter über WLAN die jeweils eigene Position und auch diejenigen aller anderen Roboter. Damit sind sie in der Lage, die Arbeitsstationen unter Vermeidung von Kollisionen mit anderen Robotern auf festgelegten Wegen anzufahren. Die Positionsbestimmung der Roboter erfolgt über 6 Deckenkameras, deren Bildbereiche zusammen das gesamte Produktionsfeld von ca. 6 x 3 m abdecken. Die Bildverarbeitung ermöglicht eine Positions-Bestimmung im Takt von

Abbildung 1: Systemkomponenten Fertigungsprozess



0.15 sec, die über UDP-Telegramme im WLAN-Netz in Echtzeit ausgesandt wird. Die Roboter sind mit Greifarmen ausgestattet mit denen Werkstücke an den Arbeitsstationen aufgenommen und abgesetzt werden können.

4. RFID-Technik

Die Werkstücke tragen jeweils einen RFID-Chip, der an den Stationen gelesen und beschrieben werden kann. Der Fertigungsfortschritt wird durch entsprechende Datenspeicherung auf dem RFID-Chip des Werkstücks festgehalten.

Die acht RFID-Sensoren der Firma Turck, die an den vier Stationen montiert sind, sind über den Feldbus/Profibus-DP mit dem sogenannten Fertigungsrechner verbunden. Dieser verfügt über eine Profibus-DP-Masterkarte der Firma Hilscher.

5. Rohteillager / Bearbeitungsmaschinen / Fertigteillager

„Station 1“ simuliert zwei Rohteillager mit jeweils einem RFID-Sensor sowie jeweils zwei Lagerplätzen. Ein Rohteil muss vor dem ersten Produktionsprozess eine eindeutige ID inklusive Kennzeichnung „Rohteil“ sowie einen Zeitstempel erhalten.

„Station 2“ simuliert zwei unterschiedliche Bearbeitungsmaschinen mit jeweils einem RFID-Sensor und jeweils zwei Bearbeitungsplätzen. Ein zu bearbeitendes Teil muss zunächst am RFID-Sensor der Maschine angemeldet werden, bevor es auf einen der freien Bearbeitungsplätze abgelegt wird. Die Maschine simuliert den Fertigungsprozess durch eine Zeitverzögerung. Nach Ablauf der Zeit muss das Werkstück am RFID-Sensor abgemeldet werden, bevor der nächste Fertigungsschritt begonnen werden kann. Beim Anmelde- und Abmeldevorgang sind produktionsrelevante Daten auf den RFID-Chip des Werkstücks zu schreiben.

„Station 3“ arbeitet ähnlich wie die zweite, simuliert aber zwei weitere (unterschiedliche) Maschinen.

„Station 4“ simuliert zwei Fertigteillager. Hier sind die Fertigteile abzulegen und mit einem Fertigstellungsstempel zu versehen.

6. Fertigungsrechner

Der gesamte Produktionsablauf wird von einem Fertigungsrechner gesteuert. Der Fertigungsrechner ist ein mit CoDeSys und einer SQL-Datenbank (MySQL) ausgestatteter Desktop-PC. Er hat die folgenden Aufgaben:

- a. Lesen der RFID-Information des Werkstücks
- b. Simulation des Produktionsablaufs der jeweiligen Fertigungsstation durch eine Zeitverzögerung. Auch der simulierte Ausfall einer Fertigungsstation soll möglich sein.
- c. Schreiben der produktionsrelevanten Informationen in die SQL-Datenbank
- d. Aktualisierung der RFID-Information des bearbeiteten Werkstücks

Die Daten sind so auf den RFID-Chip abzulegen, dass eine Rückverfolgung des Produktionsprozesses für dieses Werkstück möglich ist.

In der SQL-basierte Datenbank wird der Zustand sämtlicher im Produktionsprozess eingesetzten Roh-, Halbfertig- und Fertigteile sowie sonstige produktionsbezogene Daten gespeichert. Auch Daten zur Batterie-Überwachung der autonomen Roboter werden hier abgelegt. Die SQL-Datenbank kann aufgrund der Client/Server-Architektur gleichzeitig auch von der Fertigungs-Planung bzw. -Steuerung genutzt werden.

7. Fertigungsplanung und-steuerung

Ausgangspunkt der Fertigungsplanung sind Fertigungsaufträge, die in das System („über die Tastatur“) eingegeben werden. Aus diesen Aufträgen generiert die Planung einzelne, kleinere Abwicklungsaufträge, die durch die Fertigungssteuerung an die mobilen Roboter übergeben werden.

Beispiele für Fertigungsaufträge (Anzahl Fertigteile und Reihenfolge der Maschinenbearbeitung):

Anzahl Fertigteile	Produktions-schritt 1	Produktions-schritt 2	Produktions-schritt 3	Produktions-schritt 4
2	1	2	-	-
1	2	4	3	
2	4	1	2	
1	1	2	3	4
.....				
.....				

Beispiele für daraus abgeleitete Abwicklungsaufträge:

„Roboter 1 holt Rohteil aus Rohteillager1 vom Platz 1“
„Roboter 1 meldet Rohteil an Maschine 1 an“
„Roboter 1 fährt angemeldetes Rohteil zu Lagerplatz 1 der Maschine 1“
„Roboter 1 meldet fertig bearbeitetes Teil an Maschine 1 ab“
„Roboter 1 meldet Halbfertigteil bei Maschine 2 an“
.....

Im einfachsten Fall werden die Fertigungsaufträge der Reihe nach (FIFO-Prinzip) bearbeitet. Ein höherer Fertigungsdurchsatz lässt sich durch eine Liste von Abwicklungsaufträgen, die das Resultat einer Optimierungsrechnung ist, erzielen.

Die Fertigungssteuerung ist für das Veranlassen, Überwachen und Sichern der Durchführung der freigegebenen Aufträge verantwortlich. Die Überwachung erfolgt durch geeignete zeitnahe Rückmeldesysteme. Die Kommunikation zwischen Fertigungssteuerung und mobilen Robotern erfolgt über WLAN.

8.1 Aufgaben für das Gewerk 1:

RFID, Fertigungsrechner, Fertigungsplanung-/Steuerung

(Betreuung Mnr, Hus)

Es ist die Software für den Fertigungsrechner sowie die Fertigungsplanung/-steuerung gemäß den Vorgaben zu erstellen.

Der Fertigungsrechner muss alle acht RFID-Sensoren lesen/schreibend ansprechen können und benötigt auch ein Interface zu der auf diesem Rechner zu installierenden SQL-Datenbank. Es ist eine komfortable Parametrierung der Bearbeitungsmaschinen (Ausfall, individuelle Zeitverzögerung) vorzusehen. Der aktuelle Zustand der Stationen ist zu visualisieren.

Für die Fertigungsplanung empfiehlt es sich, zunächst einen rudimentären Algorithmus einzusetzen. Benutzen Sie die Programmiersprache ST für die Implementierung. Neue Fertigungsaufträge sollen komfortabel in das System eingegeben werden können. Der aktuelle Zustand der Fertigungsplanung und -steuerung ist zu visualisieren.

8.2 Aufgaben für das Gewerk 2: Bahnplanung, Kollisionsvermeidung und Werkstück-Handling (Betreuung Maa, Hlz, Mnr, Zey, Hus)

Es ist ein Protokoll für die Versendung von Fahraufträgen durch die Fertigungsplanung festzulegen und der entsprechende Datenverkehr mit der Fertigungsplanung zu realisieren. Aus den Fahraufträgen sind Wegpunktlisten zu erstellen, die an das Modul „Bahnregelung“ übergeben werden.

Es ist eine Strategie zur Kollisionsvermeidung zu entwickeln. Aus den Navigations-Telegrammen stehen die Positionen aller Roboter zur Verfügung. Es empfiehlt sich, zunächst eine einfache Strategie (z.B. mit einem Gefahrenkreis und einer Vorfahrtsregelung) zu implementieren.

Die Abläufe beim Anfahren der Arbeitsstationen sind Detail zu planen und durch einen geeigneten Datenverkehr mit der Fertigungsplanung abzusichern. Für die Annäherung an die Arbeitsstationen sind die Ansteuerung der Greifer und ggfls. zusätzliche Abläufe (Ausrichtung, Genauigkeit, ggfls. mit Navigationshilfen) zu implementieren.

Die zu entwickelnde Software soll als Simulink-Blockdiagramm mit embedded Matlab-Funktionen und evtl. Matlab/Stateflow erstellt werden und auf jedem Roboter dezentral als xPC-Target laufen.

8.3 Aufgaben für das Gewerk 3: Hochgenaue Bahnführung der autonomen Roboter (Betreuung Maa, Hlz, Zey)

Es ist ein Beobachter zu entwerfen und zu realisieren, der die Position im Takt 2-10 ms schätzt, während die gemessene Position im Takt 100-200 ms und mit Jitter (also einer zufälligen zeitlichen Verschiebung, aber mit Zeitstempel versehen) eintreffen. Die Positionsschätzung soll auch robust gegen Positions-Aussetzer gestaltet werden.

Die Roboter erhalten vom Modul Bahnplanung eine Folge von Wegpunkten. Aus diesen Wegpunkten sind Solltrajektorien zu konstruieren, die von den Robotern wirklich gefahren und direkt im Regler verwendet werden können.

Es ist ein Zustands-Reglers für das hochgenaue Abfahren der konstruierten Solltrajektorien zu entwerfen.

Um ein schnelles Anfahren der Arbeitsstationen bei korrekter Ausrichtung des Werkstücks zu ermöglichen, soll eine Bahnregelung bei gleichzeitiger Drehung des Roboters (Ausrichtung) implementiert werden.

Die Programmierung der Roboter soll als Simulink-Blockdiagramm mit embedded Matlab-Funktionen folgen, die dann als xPC-Target auf den Robotern laufen.

8.4 Aufgaben für das Gewerk 4: Powermanagement (Betreuung Rth, Kor, Hus)

Im Rahmen des Aufbaus und Betriebs des automatisierten Fertigungsablaufs mit mobilen Robotern geht es beim Gewerk 4 um die Weiterentwicklung des Powermanagements der einzelnen Roboter und der gesamten Fertigungseinrichtung. In drei vorangegangenen Verbundprojekten wurden wesentliche Meilensteine bereits bearbeitet und gelöst:

- Systematische Energiebedarfsmessungen
- Reduzierung der standardmäßig eingebauten Akkumulatorkapazität (24 V / 4 Ah, realisiert durch zwei in Reihe geschaltete Blei-Gel-Akkumulatoren à 12 V / 4 Ah) durch NiMH-Akkumulatoren (24 V / 700 mAh und 350 mAh)
- Aufbau einer automatisierten Boden-Ladestation für Roboter mit Blei-Gel-Akkumulatoren.

Im Rahmen dieses Verbundprojekts sind im Gewerk 4 folgende theoretisch-praktische Aufgaben zu lösen:

- Erarbeitung und Realisierung von Ladezustandsmodellen für die eingesetzten Akkumulatoren (Blei-Gel, NiMH)
- Aufbau einer automatisierten Boden-Ladestation für Roboter mit NiMH-Akkumulatoren unter Einsatz eines bereits vorhandenen Ladegeräts und Integration dieser Ladestation in die Fertigungsstationen und die bereits vorhandene Ladestation für Blei-Gel-Akkumulatoren
- Überprüfung, Ertüchtigung und Nachweis des Ladeschutzes für beide Ladestationen.

Zur Lösung dieser Aufgaben ist eine enge und abgestimmte Zusammenarbeit mit den anderen Gewerken des Verbundprojekts erforderlich. Dies gilt auch für die Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und Arbeitstools.

Die Aufgaben im Einzelnen:

Erstellung eines Projektstrukturplans mit Aufgabenpaketen, Bearbeitern, Meilensteinen und Terminen. Hier ist gleich zu Beginn zu planen, welcher Bearbeiter welche Aufgabenpakete verantwortet.

Theoretische Einarbeitung in die Themenbereiche Batterie- und Powermanagement: Batteriekenngrößen, Batterieschutz, Energieversorgung, Lastprofile und -gänge (Energiebedarf), Beeinflussungsmöglichkeiten in der mobilen Einheit (Strombegrenzung, Stromregelung, Drehzahlregelung der DC-Antriebe). Hierzu sind die Abschlussberichte der drei vorangegangenen Verbundprojekte hilfreich, aber nicht ausreichend. Ladezustandsmodelle für die verwendeten Batterien zu deren Schonung und Schutz: Es ist ein Algorithmus zur Ermittlung des Zustands der Batterie (qualitativ und quantitativ) zu entwerfen. Wenn die Batterien entladen sind bzw. am Ende des Tages geladen werden sollen, soll der mobile Roboter zur entsprechenden Ladestation fahren (entsprechende Meldungen und Abfragen sind dabei zu tätigen). Implementierung von Notfahrfunktionen.

Analyse des Ladevorgangs auf der Batterie- und der Netzseite. Dabei soll sowohl der einzelne mobile Roboter als auch deren Gesamtheit betrachtet werden. Aufbau einer automatisierten Boden-Ladestation für Roboter mit NiMH-Akkumulatoren. Dabei ist auf einen sicheren Ladeschutz zu achten. Überprüfung, Ertüchtigung und Nachweis des Ladeschutzes für die bereits vorhandene Boden-Ladestation für Roboter mit Blei-Gel-Akkumulatoren.

Vorhersage des Netzlastprofils beim Ladevorgang eines mobilen Roboters sowie mehrerer Roboter. Ermittlung des Optimierungspotenzials

8.5 Aufgaben für das Gewerk 5: Lagebestimmung für mobile Roboter

(Betreuung Maa, Hlz, Zey, Hus)

Zur Lagebestimmung der Roboter wird ein Deckenkamerasystem eingesetzt. Zurzeit existiert dort eine Lösung auf Matlab-Simulink-Basis, welche in der Qualität der Daten stark von einer zeitintensiven manuellen Referenzierungs-Prozedur abhängt.

Als erster Schritt soll die Messunsicherheit der aktuellen Lösung reduziert werden, indem die Linsenverzeichnungen der Kamerabilder ermittelt und kompensiert werden. Dann soll das aktuelle Verfahren zum Übereinanderlegen der 6 Einzelbilder gegen ein neues ausgetauscht werden, welches auf der perspektivischen Transformation beruht.

Ergänzend soll eine grafische Benutzeroberfläche erstellt werden, welche die Bedienung (auch die der Referenzierung) und die Diagnose der Roboternavigation erleichtert.

Ein langfristiges Ziel ist die automatische Nachkalibrierung der Anlage und damit die kontinuierliche Verbesserung der Positionsschätzung im Betrieb.

Zusammenarbeit mit dem Gewerk 3 bezüglich einer Geschwindigkeits-Beobachtung ist erwünscht.

Als Technologie soll das moderne Qt-Framework für das Erstellen der Applikation verwendet werden. Für die Bildverarbeitungsalgorithmen wird auf die Verwendung der Open-Computer-Vision-Bibliothek und bestehende Detaillösungen für die Kalibrierung zurückgegriffen.