

Optimization and Application of a Flexible Dual Arm Robot Based Automation System for Sample Preparation and Measurement

Dissertation to obtain the academic degree of

Doctor of Engineering (Dr.-Ing.)

from the Faculty of Computer Science and Electrical Engineering at

University of Rostock



Submitted by:

Shalaka Joshi, born on 19. October 1990 in Pune, India

From Pune, India

Rostock, Germany, 25th March 2021

Abstract

Robots play a significant role in the automation of life science processes. The high number of degrees of freedom allow the robots to perform tasks analogously to human operators. Every added degree of freedom imparts more mobility to the arm. The two robot arms can be operated in different modes. In the synchronous mode, both the arms can be used jointly in handling of an individual object. In addition, direct transfer of objects from one arm to another is possible without having to set the object down. The two robot arms can also be controlled independently to carry out two different tasks simultaneously. Thus the programmer can design and plan the various tasks such that multiple tasks can be done simultaneously resulting in a shorter process cycle. This dissertation describes the optimization of the implementation of the Yaskawa SDA10F dual-arm robot to carry out routine sample preparation tasks in a life science laboratory. A large number of movements are required to carry out the individual tasks. The initial version of the control software is characterized by a large number of restrictions. However, the movements can only be applied in a certain order without editing and cannot be used for new applications. The motions created were programmed for certain labware and could access limited positions on the workspace, which limited the output capacity. Standard laboratory equipment often varies slightly in terms of size and weight and might require dissimilar handling tactics. Hence, multiple identical motions were created for different types of labware which created an extensive database. The robot started the motions from a starting position and went back to the starting position after each task. Moreover, the system could only be operated to prepare one batch of samples each time.

In order to overcome the previous limitations the control concept has been changed. The robotic motions were re-planned such that they can be used with any type of labware such as microtiter plates, reservoirs, vials etc. New motions and positions were defined and implemented to achieve optimal use of the work area for storing labware and to enable the robot to access a larger number of positions on the workbench. This way, new applications can be integrated with the system without the need for additional motion programming making the system flexible. The structure of the robot motion programs has been changed such that a single program can be used for various labware with different requirements making the database manageable and reducing the number of total motions by half. The structure of the initial robot interface program (R-Interface) is also changed so that various tasks of an application are carried out consecutively without the need for the robot to always return to its starting position between tasks. The decision whether or not to continue to the next task is made with the help of an algorithm and is based on the robot posture at the end of each task. The various tasks are independent of each other such that change, addition or elimination of a task from the interface program does not affect the overall system. Such a system can be expanded in the future.

In addition to optimizing the control software, changes were also introduced in the implementation of the task planning and scheduling SAMI Ex software. The initial system required the various tasks to be created as independent files which had to be queued in the correct sequence by the programmer to create a process flow. Such individual files made it

cumbersome to edit the process. The changed implementation of the SAMI Ex involves creating a single process flow file holding details to all the tasks. This way, the entire system can be seen by the user and edited readily. Within the labware required for the process, groups of labware are defined as 'families'. The sample preparation process can be carried out continuously using just one process flow for as many times as the number of families.

The main result of the work is a time saving processing of the processes. The optimized motions and improved robot interface program (R-Interface 2.0) has been implemented to perform two sample preparation processes. The motions and system improvements were validated by preparing samples for determining the chiral enantiomers in a solution and preparing samples to measure the cholesterol content in biliary incrustations. The processing times were seen to be reduced by 30% in comparison to the initial system design. The processes can now run multiple times continuously to process multiple batches of samples without human intervention without interruption. Both the sample preparation applications were tested for creating four continuous batches with twelve samples each. Labware and reagents may have to be refilled manually at times. The number of sample that can be prepared in bulk is constrained by the amount of labware that can be stored in the robot environment at a time. The new system has thus increased the throughput of the laboratory. The system relieves trained laboratory technicians from the monotonous and stressful job of preparing the samples manually. They can thus direct their efforts towards developing new methods processes.

Zusammenfassung

Roboter spielen eine wichtige Rolle bei der Automatisierung von Life-Science-Prozessen. Doppelarmroboter verfügen aufgrund der hohen Zahl an Freiheitsgraden über die Möglichkeit der Ausführung von Aufgaben analog zum menschlichen Operator. Jeder zusätzliche Freiheitsgrad verleiht dem Roboterarm dabei mehr Beweglichkeit. Die beiden Roboterarme können in unterschiedlichen Modi betrieben werden. Im synchronen Modus übernehmen sie die gemeinsame Handhabung eines einzelnen Objekts, wobei auch die direkte Übergabe von Objekten von einem Arm auf den anderen ohne ein zwischenzeitliches Absetzen möglich ist. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, beide Arme unabhängig voneinander anzusteuern, um zwei verschiedene Aufgaben gleichzeitig auszuführen. Auf diese Weise kann der Programmierer die verschiedenen Aufgaben so entwerfen und planen, dass mehrere Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden, was zu einem kürzeren Prozesszyklus führt.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Optimierung der Implementierung eines Yaskawa-Doppelarmroboters SDA-10F zur Durchführung routinemäßiger Probenvorbereitungsaufgaben in einem Life-Science-Labor. Für die Durchführung der einzelnen Aufgaben durch den Roboter ist eine Vielzahl an Bewegungen erforderlich. Die Basisvariante der Steuerungssoftware ist durch eine Vielzahl von Restriktionen gekennzeichnet. Die Bewegungen können jedoch nur in einer bestimmten Reihenfolge angewendet ohne größere Bearbeitung nicht für neue Anwendungen verwendet werden. Die erstellten Bewegungen sind für bestimmte Labware programmiert und können nur auf begrenzte Positionen im Arbeitsbereich zugreifen, wodurch die Ausgabekapazität begrenzt wurde. Standard-Laborgeräte unterscheiden sich häufig geringfügig in Größe und Gewicht und erfordern möglicherweise unterschiedliche Handhabungstaktiken. Daher wurden mehrere identische Bewegungen für verschiedene Arten von Labware erstellt, woraus eine umfangreiche Datenbank resultiert. Der Roboter startet die Bewegungen jeweils von einer Ausgangsposition aus und kehrt nach jeder Aufgabe in die Ausgangsposition zurück. Darüber hinaus konnte das System nur zur Vorbereitung einer Charge von Proben jedes Mal betrieben werden.

Um die vorherigen Einschränkungen zu überwinden, wurde das Konzept der Steuerung verändert. Die Roboterbewegungen wurden so neu geplant, dass sie mit jeglicher Art von Labware wie Mikrotiterplatten, Reservoirs, Vials usw. verwendet werden können. Zusätzlich wurden neue Bewegungen und Positionen definiert und realisiert, um eine optimale Nutzung des Arbeitsbereichs für die Aufbewahrung von Labware zu erreichen und die Zugriffsmöglichkeiten des Roboters auf eine höhere Anzahl an Positionen auf der Werkbank zu ermöglichen. Auf diese Weise können neue Anwendungen in das System integriert werden, ohne dass eine zusätzliche Bewegungsprogrammierung erforderlich ist, wodurch das System flexibel wird. Die Struktur der Roboterbewegungsprogramme wurde so geändert, dass ein einziges Programm für verschiedene Labware mit unterschiedlichen Anforderungen verwendet werden kann, wodurch die Datenbank verwaltbar wird. Die Struktur des Schnittstellenprogramms wird ebenfalls so geändert, dass verschiedene Aufgaben einer Anwendung nacheinander ausgeführt werden, ohne dass der Roboter zwischen den Aufgaben immer zu seiner Ausgangsposition zurückkehren muss. Die Entscheidung, mit der nächsten Aufgabe fortzufahren oder nicht, wird mithilfe eines Algorithmus getroffen und basiert auf der

Roboterhaltung am Ende jeder Aufgabe. Die verschiedenen Aufgaben sind unabhängig voneinander, so dass das Ändern, Hinzufügen oder Entfernen einer Aufgabe aus dem Schnittstellenprogramm keine Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat. Ein solches System kann in Zukunft einfach erweitert werden.

Neben der Optimierung der Steuerungssoftware wurden auch Änderungen bei der Implementierung der SAMI Ex-Software zur Aufgabenplanung und -planung vorgenommen. Das ursprüngliche System erforderte, dass die verschiedenen Aufgaben als unabhängige Dateien erstellt wurden, die vom Programmierer in der richtigen Reihenfolge in die Warteschlange gestellt werden mussten, um einen Prozessablauf zu erstellen. Das Durchsuchen einzelner Dateien machte das Bearbeiten des Vorgangs umständlich. Die geänderte Implementierung von SAMI Ex umfasst das Erstellen einer einzelnen Prozessablaufdatei mit Details zu allen Aufgaben. Auf diese Weise kann das gesamte System vom Benutzer gesehen und problemlos bearbeitet werden. Innerhalb der für den Prozess erforderlichen Labware werden Gruppen von Labware als "Familien" definiert. Der Probenvorbereitungsprozess kann kontinuierlich mit nur einem Prozessablauf durchgeführt werden, der so oft wie die Anzahl der Familien ist.

Wesentliches Ergebnis der Arbeiten ist eine Zeiteinsparung bei der Abarbeitung der Prozesse. Die optimierten Bewegungen und das verbesserte Roboterschnittstellenprogramm (R-Interface 2.0) wurden implementiert, um zwei Probenvorbereitungsprozesse durchzuführen. Die Bewegungen und Systemverbesserungen wurden validiert, indem Proben zur Bestimmung der chiralen Enantiomere in einer Lösung und Proben zur Messung des Cholesteringehalts in Galleninkrustationen vorbereitet wurden. Die Verarbeitungszeiten wurden im Vergleich zum ursprünglichen Systemdesign um 30% reduziert. Prozesse können nunmehr mehrere Male kontinuierlich ausgeführt werden, um mehrere Chargen von Proben ohne menschliches Eingreifen ohne Unterbrechung zu bearbeiten. Beide Probenvorbereitungsanwendungen wurden getestet, um vier kontinuierliche Chargen mit jeweils zwölf Proben zu erstellen. Labware und Reagenzien müssen zeitweise manuell nachgefüllt werden. Die Anzahl der Proben, die in großen Mengen vorbereitet werden können, wird durch die Menge an Labware begrenzt, die gleichzeitig in der Roboterumgebung gespeichert werden kann. Das System erhöht den Durchsatz des Labors. Das System entlastet geschulte Labortechniker von der monotonen und stressigen Aufgabe, die Proben manuell vorzubereiten. Sie können so ihre Bemühungen auf die Entwicklung neuer Methodenprozesse richten.