



Roberta EV3-CubeSolver

EV3 und Java



Inhaltsverzeichnis

| 1 | Hinweise | 2 |
|---|---------------|---|
| 2 | Hauptprogramm | 5 |
| 3 | Hauptmenü | 8 |
| 4 | Algorithmus | 9 |



1 Hinweise

Dieses Tutorial erläutert die Verwendung des Roberta-EV3CubeSolvers, der im Roberta-Band »EV3-Programmieren mit Java« vorgestellt wird, und wie mit seiner Hilfe ein Rubik's Zauberwürfel automatisiert gelöst werden kann. Der dafür zuständige Programmteil wird im ersten Abschnitt »Hauptprogramm« dieses Dokuments aus dem Menü des EV3CubeSolvers aufgerufen und Schritt für Schritt dargestellt. Der zweite Abschnitt »Hauptmenü« beschreibt die anderen verfügbaren Menüpunkte und wofür sie verwendet werden. Im dritten Abschnitt »Algorithmus« wird der zu Grunde liegende Algorithmus genauer beschrieben.

Zum Lösen eines Zauberwürfels werden folgende Komponenten benötigt:

- Modell des Roberta-EV3CubeSolvers (siehe http://roberta-home.de/javaband-ev3)
- Sourcecode für das Programm des Roberta-EV3CubeSolvers (siehe http://roberta-home.de/javaband-ev3)
- PC mit Entwicklungsumgebung für EV3-Programme in Java (Eclipse und leJOS)
- microSD-Karte mit leJOS-Image (aktuell 0.9.0-beta, siehe http://www.lejos.org/)
- Rubik's Zauberwürfel

Das Einrichten einer vollständigen Entwicklungsumgebung für EV3-Programme in Java mit leJOS, also die Installation der benötigten Software und das Verbinden mit dem EV3, ist nicht Teil dieses Tutorials. Dazu sei an dieser Stelle auf den oben genannten Roberta-Band verwiesen. Darin wird ebenfalls Schritt für Schritt beschrieben wie Java-Programme für den EV3 kompiliert und auf ihm ausgeführt werden.



Verkabelung

Beim Roberta-EV3CubeSolver kommen die drei Motoren des LEGO MINDSTORMS Education Sets zum Einsatz. Der erste große Servomotor befindet sich horizontal ausgerichtet unter dem sogenannten Tisch; das ist der Teil des EV3CubeSolvers in dem der Rubik's Zauberwürfel sitzt. Der zweite große Servomotor befindet sich vertikal ausgerichtet hinter der sogenannten Gabel, mit deren Hilfe die ihr zugewandte Seite des Würfel gedreht wird. Der Servomotor medium befindet sich am Ende des EV3CubeSolvers und bewegt die Gabel mitsamt ihrem Motor auf den Würfel zu und von ihm weg. Zum Abscannen der farbigen Elemente des Rubik's Zauberwürfels wird ein EV3-Farbsensor eingesetzt. Die Verkabelung dieser Komponenten mit dem EV3-Brick ist wie folgt vorzunehmen:

- **Motorport A:** Großer Servomotor (unterhalb des Tisches)
- **Motorport B:** Großer Servomotor (hinter der Gabel)
- **Motorport C:** Servomotor medium (am Ende des Roberta-EV3CubeSolvers)
- Sensorport S1: EV3-Farbsensor



Hinweise



Abbildung 1: Der Tisch

Abbildung 2: Großer Motor für Tisch-Rotation (Motorport A)



Abbildung 3: Die Gabel



Abbildung 4: Großer Motor für Gabel-Rotation (Motorport B)



Abbildung 6: Der Farbsensor (Sensorport S1)

Abbildung 5: *Medium Motor für Gabel-Translation (Motorport* C)



Spannungsversorgung

Durch das mitgelieferte Akku-Pack des LEGO MINDSTORMS-Systems sind mobile Konstruktionen möglich. Mit fortschreitender Entladung des Akkus verringert sich allerdings seine Spannung, wodurch die Motorbewegungen ungenauer und langsamer werden. Da beim Roberta-EV3CubeSolver sehr hohe Präzision gefordert ist, sollte er **immer mit vollständig aufgeladenem Akku an der Steckdose betrieben werden**. Ansonsten kann es zu mechanischen Fehlern kommen, wodurch der Würfel verhakt und der automatisierte Lösungsprozess fehlschlägt.

Scan-Vorgang

Der Roberta-EV3CubeSolver erkennt die Farben des eingelegten Rubik's Zauberwürfel während des Scan-Vorgangs, der zu Beginn automatisch als Teil der Lösungsprozedur durchgeführt wird. Dabei bestimmt der Farbsensor alle Elemente auf der Oberseite durch Rotation des gesamten Würfels. Danach werden neue Elemente durch bestimmte Bewegungen auf die Oberseite gebracht, was die zuvor abgescannten Elemente von dieser verdrängt. Ihre neuen Positionen können aber an Hand der ausgeführten Bewegungen bestimmt und gespeichert werden. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich jedes Element einmal auf der Oberseite befunden hat und abgescannt wurde. Bauartbedingt kann der Roberta-EV3CubeSolver dabei die Elemente in der Mitte jeder Seite nicht abscannen, weshalb eine bestimmte Orientierung des Würfels vorausgesetzt wird. Der Rubik's Zauberwürfel muss also bereits richtig orientiert in den CubeSolver eingelegt werden:

- Mittleres Element der Oberseite: gelb
- Mittleres Element der Vorderseite (zeigt in Richtung Gabel): orange
- Mittleres Element der Unterseite: weiß



2 Hauptprogramm

Der Programmteil zum automatisierten Lösen des Rubik's Zauberwürfels wird über den ersten Punkt des Hauptmenüs aufgerufen. Um in das Menü zu gelangen muss die Datei »CubeAlgorithm.java«, in der sich die main-Funktion des Projekts befindet (welche das Hauptprogramm des Roberta-EV3CubeSolvers darstellt), kompiliert und auf dem EV3 ausgeführt werden.



ebenfalls auf dem Display des EV3 angezeigt.

Vorgang abgeschlossen ist kann die Verriegelung des Tischs gelöst werden. Dies wird

ENTER: Continue

Abbildung 7: Tisch mit geschlossener Verriegelung



Abbildung 8: Tisch mit geöffneter Verriegelung

Sollte die Position des Tischs nun ohne Verriegelung um ein paar Grad von der Ausgangsposition abweichen, muss die Initialisierung erneut durchgeführt werden. Dies geschieht, nachdem man in das Hauptmenü gelangt ist, durch Aufrufen des Menüpunkts »Init Motors«.



Nun werden die Motoren kalibriert, indem nacheinander einzelne Bewegungen ausgeführt und die Rotationswinkel angepasst werden, bis die Bewegungen präzise genug sind. Für zukünftige Starts des Roberta-EV3CubeSolvers werden diese Rotationswinkel in den Dateien »forkcalibration« und »tablecalibration« abgespeichert, sodass die Kalibrierung theoretisch nur einmal durchgeführt werden muss. Auf dem Display des EV3 wird die aktuell zu kalibrierende Bewegung und wie der dazugehörige Winkel verändert werden kann angezeigt.





Hauptprogramm

Die Tastenbelegung ist dabei wie folgt:

ENTER führt die angezeigte Bewegung aus. An der Stellung des Rubik's Zauberwürfels kann erkannt werden ob die entsprechende Würfelseite durch die Bewegung zu viel oder zu wenig gedreht wurde, der Rotationswinkel also verringert oder erhöht werden muss.

UP erhöht den Rotationswinkel der Bewegung.

DOWN verringert den Rotationswinkel der Bewegung.

Manchmal ist es nicht möglich eine Bewegung so einzustellen, dass sie vollständig exakt ausgeführt wird. In diesem Fall ist durch mehrmalige Ausführung der Bewegung darauf zu achten, dass die Abweichung nach oben und unten gleich groß wird.



tablecalibration Fal read vo ke ku

Falls die Dateien »forkcalibration« und »tablecalibration« bereits vor dem Kalibrierungsvorgang existieren, wird die manuelle Kalibrierung übersprungen und die Rotationswinkel für die fünf oben dargestellten Bewegungen aus diesen Dateien eingelesen. Dies wird kurzzeitig auf dem Display des EV3 angezeigt.

forkcalibration read

Danach wird das Hauptmenü auf dem Display des EV3 angezeigt, womit der Roberta-EV3CubeSolver bereit ist einen Rubik's Cube automatisiert zu lösen.

Da das mittlere Element jeder Seite des Würfels in seiner Position fest ist und die mittleren Elemente nicht abgescannt werden können, ist es nötig den Rubik's Cube korrekt orientiert in den CubeSolver einzusetzen. Dabei muss die **gelbe Seite nach oben, die weiße Seite nach unten und die orange Seite in Richtung Gabel** zeigen.





Mit Hilfe der UP- und DOWN-Taste kann innerhalb des Menüs navigiert werden. Standardmäßig ist der Menüpunkt »Scan and solve« angewählt, der nach Bestätigung mittels ENTER-Taste die automatisierte Lösungsprozedur startet.

Die nun zunächst ausgeführten Bewegungen gehören zum Scan-Vorgang und sind bei jedem Aufruf der Lösungsprozedur gleich. Dabei wird der Rubik's Cube derart verdreht, dass sich jedes Element einmal auf der Oberseite befindet um dort gescannt werden zu können. Dadurch wird ein Abbild des Würfels im Speicher des EV3 erstellt, mit dessen Hilfe die Bewegungen zum Lösen des Würfels gefunden werden.

Nach einem erfolgreichen Scan-Vorgang, werden die einzelnen Farben des Würfels – sortiert nach den Seiten auf denen sie sich befinden – auf dem Display des EV3 angezeigt. Daraufhin kann die Lösungssuche durch Betätigen der ENTER-Taste gestartet werden. Ein Fehlschlagen des Scan-Vorgangs wird ebenfalls auf dem Display des EV3 angezeigt, woraufhin dieser durch Drücken der ENTER-Taste wiederholt werden kann.







Hauptprogramm

Solution found 109 Apply?

Nachdem eine Lösung gefunden wurde, wird ihre Länge auf dem EV3-Display angezeigt und auf eine Bestätigung mittels ENTER-Taste gewartet. Danach führt der Roberta-EV3CubeSolver die entsprechenden Bewegungen aus und löst damit den eingesetzten Rubik's Zauberwürfel.



ENTER: Menu

Nun befindet sich der gelöste Zauberwürfel im Roberta-EV3CubeSolver und kann entnommen werden. Auf dem Display des EV3 werden einige Zeiten bezüglich des Lösungsvorganges angezeigt. Nun gelangt man durch Drücken der ENTER-Taste ins Hauptmenü und kann einen weiteren, ungeordneten Rubik's Cube einlegen um ihn automatisiert lösen zu lassen.



3 Hauptmenü

Das Hauptmenü des Roberta-EV3CubeSolvers enthält vier Menüpunkte, deren Funktionen in diesem Abschnitt kurz erklärt werden.



Der Menüpunkt »**Scan and solve**« startet die automatisierte Lösungsprozedur, welche im letzten Abschnitt genauer erklärt wurde. Ist dieser Vorgang beendet, können weitere ungelöste Rubik's Zauberwürfel nach dem Einlegen (Orientierung beachten!) durch Aufruf dieses Menüpunkts gelöst werden. Eine erneute Kalibrierung oder Initialiserung ist nicht erforderlich.

Scan and solve Calibrate motors Init motors Exit program

Über den Eintrag »**Calibrate motors**« kann die Motorkalibrierung, die auch unmittelbar nach jedem dem Start des Hauptprogramms durchgeführt wird, manuell aufgerufen werden. Dies kann nötig werden, falls sich die vom Roberta-EV3CubeSolver während einer Lösungsprozudur durchgeführten Bewegungen als zu unpräzise erweisen.

Scan and solve Calibrate motors Init motors Exit program

Mit dem Eintrag »Init motors « wird die Motorinitialisierung manuell erneut gestartet, wodurch die Nullstellungen der Motoren neu bestimmt werden. Dies kann nötig werden, falls die Stellung des Tischs nach dem Lösen der Verriegelung um einige Grad von der benötigten (exakten) Nullstellung abweicht.



Das Menü (und damit auch das Hauptprogramm des CubeSolvers) kann über den Menüpunkt »**Exit program**« verlassen werden.



4 Algorithmus

Bevor in diesem Abschnitt der Algorithmus des Roberta-EV3CubeSolvers näher beschrieben werden kann, wird zunächst auf den Aufbau des Rubik's Zauberwürfel und die ihn betreffenden Fachausdrücke eingegangen. Mit diesen Grundlagen kann dann der Algorithmus und seine Implementierung im Quellcode besser nachvollzogen werden.

Würfelstruktur und Terminologie

Ein Rubik's Zauberwürfel besitzt auf jeder Seite 9 farbige Elemente und hat insgesamt 6 Seiten, was zu einer Gesamtzahl von 54 Elementen führt. Diese sind in ihrer Anordnung aber nicht unabhängig von einander, was auf den Aufbau des Würfels zurückzuführen ist. Dabei gibt es drei Arten von Steinen (auch »Cubies« genannt):

- **Mittelsteine (engl. »center«)** besitzen nur ein farbiges Element und sitzen in der Mitte einer Seite. Die Position der Mittelsteine ist fest und nicht veränderbar, weshalb sie die Farbe der Seite definieren auf der sie sich befinden. Damit gibt es insgesamt 6 Mittelsteine.
- **Kanten (engl. »edges«)** besitzen zwei farbige Elemente und sitzen immer zwischen zwei Ecken. Die Position einer Kante ist eindeutig durch Angabe der beiden Seiten definiert, auf denen sich ihre Elemente befinden. Damit gibt es insgesamt 12 Kanten.
- **Ecken (engl. »corner«)** besitzen drei farbige Elemente und sitzen zwischen drei Kanten. Die Position einer Ecke ist eindeutig durch Angabe der drei Seiten definiert, auf denen sich ihre Elemente bedinden. Es gibt insgesamt 8 Ecken.

Diejenige Seite, die in Richtung Gabel zeigt, ist dabei immer die aktuelle Vorderseite. Der Roberta-EV3Cube-Solver betrachtet den Würfel also aus Sicht der Gabel. Die Seiten des Rubik's Zauberwürfels (engl. »faces«) tragen folgende Bezeichnungen bzw. Kürzel:

- Vorderseite: **F** (vom engl. front-face)
- Oberseite: U (vom engl. up-face)
- Rückseite: **B** (vom engl. back-face)
- Unterseite: **D** (vom engl. down-face)
- Linke Seite: L (vom engl. left-face)
- Rechte Seite: **R** (vom engl. right-face)

Eine einzelne Rotation einer Seite wird Bewegung genannt (engl. »move«). Eine Sequenz solcher Bewegungen heisst Manöver (engl. »maneuver«). Bewegungen (am Beispeil der Vorderseite) werden **standardmäßig** wie folgt notiert:

- Rotation um 90 Grad mit dem Uhrzeigersinn: F (im Quellcode ebenfalls F, für »Front«)
- Rotation um 90 Grad gegen den Uhrzeigersinn: F' (im Quellcode FI, für »Front Inverted«)
- Rotation um 180 Grad: F2 (im Quellcode SF, für »Switch Front«)

Ein Manöver wird damit als Folge mehrerer Bewegungen notiert. Zum Beispiel: F, D, B', U2, R, L'



Algorithmus

Dem Roberta-EV3CubeSolver stehen nicht alle diese Bewegungen zur Verfügung, da er mit seiner Gabel nur die Vorderseite und mit dem Tisch die Unterseite drehen kann.



Die möglichen Bewegungen des Roberta-EV3CubeSolvers sind (nun im Notationsschema des Quellcodes):

- Rotation der Vorderseite: F, FI und SF
- Rotation der Unterseite: **D**, **DI** und **SD**
- Rotatoin des gesamten Würfels: R, RI und SR

Durch Rotieren des gesamten Würfels und drehen der Vorderseite können damit alle Seiten des Rubik's Zauberwürfels (bis auf die Oberseite) verdreht werden. Damit stehen alle Bewegungen, die zum Lösen des Würfels sind zur Verfügung.

Der Algorithmus

Im Allgemeinen bezeichnet ein Algorithmus eine eindeutige Handlungsvorschrift, die aus einer endlichen Anzahl von Teilschritten besteht und zur Lösung eines Problems aus der Mathematik oder Informatik entworfen wurde.

Der Algorithmus des Roberta-EV3CubeSolvers basiert auf einer Anfängermethode, bei der die drei Ebenen des Rubik's Zauberwürfels (engl. layer) nacheinander von oben nach unten gelöst werden. Zum Lösen jeder Ebene sind verschiedene Teilschritte notwendig, wodurch der Algorithmus wie folgt aufgebaut ist:

- 1. Lösen der ersten Ebene (First Layer)
 - a) Setzen der Kanten
 - b) Setzen der Ecken
- 2. Lösen der mittleren Ebene (Middle Layer)
- 3. Lösen der letzten Ebene (Last Layer)
 - a) Orientieren der Kanten
 - b) Vertauschen der Ecken
 - c) Orientieren der Ecken
 - d) Vertauschen der Kanten



1. Lösen der ersten Ebene

Das Lösen der ersten Ebene erfolgt in zwei Teilschritten, die im Prinzip analog durchgeführt werden:

1a) Setzen der Kanten



Zunächst werden die vier Kanten der ersten Ebene gesetzt, sodass ein gelbes Kreuz auf der Oberseite entsteht. Dazu wird die Kante mit den Farben der aktuellen Vorderseite und der Oberseite (gelb) gesucht. Der Roberta-EV3CubeSolver kennt die Bewegungen, die ausgeführt werden müssen um diese Kante von jeder beliebigen Position in die erste Ebene zu bewegen. Je nach Lage der Kante wird die entsprechende Bewegung ausgeführt. Daraufhin wird der Würfel um 90 Grad rotiert, sodass die nächste Seite nach vorn zeigt und der Vorgang wiederholt werden kann. Nach vier Iterationen ist das Kreuz auf der Oberseite hergestellt.

1b) Setzen der Ecken



Im nächsten Teilschritt werden die vier Ecken der Oberseite gesetzt, sodass danach die erste Ebene vollständig gelöst ist. Das Vorgehen ist dabei analog zum Setzen der Kanten: Es wird die Position der Ecke mit den Farben der vorderen, rechten und oberen Seite gesucht und die entsprechende Bewegung ausgewählt um diese Ecke auf ihre korrekte Position zu bewegen (siehe Abbildung). Nach wiederrum vier Iterationen ist damit die erste Ebene gelöst.

2. Lösen der mittleren Ebene

Die mittlere Ebene wird durch das Setzen der vier Kanten gelöst, da die restlichen vier Elemente dieser Ebene in ihrer Position fest sind und nicht verändert werden können. Dazu stehen zwei Manöver zur Verfügung, die eine Kante aus der letzten Ebene nach rechts oder links in die mittlere Ebene bewegen. Dabei muss die betrachtete Kante so positioniert sein, dass sie sich bereits mit der richtigen Farbe auf der Vorderseite befindet (siehe folgende Abbildung).



Es kann vorkommen, dass sich eine benötigte Kante nicht in der unteren Ebene sondern bereits in der mittleren Ebene befindet, allerdings auf der falschen Position oder falsch orientiert. In diesem Fall muss eine andere Kante auf die Position der gesuchten Kante gesetzt werden um so die gesuchte Kante in die untere Ebene zu bewegen. Von dort kann sie dann korrekt positioniert werden.



3. Lösen der letzten Ebene

Die letzte Ebene wird durch vier Teilschritte gelöst, wobei sichergestellt sein muss, dass die ersten zwei Ebenen gelöst bleiben. Aus diesem Grund ist das Lösen der letzten Ebene vergleichsweise aufwändig.

a) Orientieren der Kanten

In diesem Teilschritt werden die Kanten der letzten Ebene zunächst orientiert. Sie werden dabei auf ihren Positionen derart rotiert, dass ihre weißen Seiten (weiß ist die Farbe der Unterseite des Würfels) nach unten zeigen. Damit entsteht, ähnlich dem Lösungsprozess der ersten Ebene, ein weißes Kreuz auf der Unterseite.

b) Vertauschen der Ecken

Durch ein bestimmtes Manöver können in diesem Schritt zwei benachbarte Ecken der letzten Ebene miteinander vertauscht werden. Dadurch ist es möglich alle vier Ecken auf die für sie vorgesehene Position zu bewegen. Die Ecken sind im Allgemeinen nach diesem Schritt noch nicht korrekt orientiert, ihre Farben befinden sich also noch nicht auf den richtigen Seiten.

c) Orientieren der Ecken

In diesem Teilschritt werden die zuvor auf ihre Positionen gebrachten Ecken rotiert, sodass sich die Farben der Ecken auf den dafür vorgesehenen Seiten befinden. Durch zwei bestimmte Manöver können immer drei Ecken der letzten Ebene gegen oder mit dem Uhrzeigersinn rotiert werden. Je nachdem wie viele Ecken schon korrekt orientiert sind müssen Kombinationen der Manöver angewendet werden oder der komplette Zauberwürfel zwischendurch gedreht werden.

d) Vertauschen der Kanten

In diesem Stadium haben alle Elemente der Unterseite die richtige Farbe und es müssen gegebenenfalls nur noch Kanten vertauscht werden. Dazu stehen wiederum zwei Manöver zur Verfügung, die drei Kanten auf der Unterseite in ihrer Position permutieren.

Bei der Auswahl eines zu implementierenden Lösungsalgorithmus muss berücksichtigt werden, dass ein mit LEGO konstruierter CubeSolver weniger Bewegungen auf dem Würfel ausführen kann als insgesamt möglich sind. Der Roberta-EV3CubeSolver kann beispielsweise keine Rotationen der ersten und mittleren Ebene durchführen.



Das Prinzip des beim Roberta-EV3CubeSolver eingesetzten Algorithmus wurde damit erläutert. Eine konkrete Instruktionsanleitung, mitsamt den benötigten Manövern ist auf folgender Website zu finden:

http://peter.stillhq.com/jasmine/rubikscubesolution.html





Weitere Informationen Ansprechpartner

Weitere Informationen

Version dieses Tutorials

August 2015

leJOS leJOS Version http://www.lejos.org/ 0.9.0 beta

Ansprechpartner

Thorsten Leimbach Maximilian Schöbel Beate Jost Webseite Thorsten.Leimbach@iais.fraunhofer.de Maximilian.Schoebel@iais.fraunhofer.de Beate.Jost@iais.fraunhofer.de www.roberta-home.de