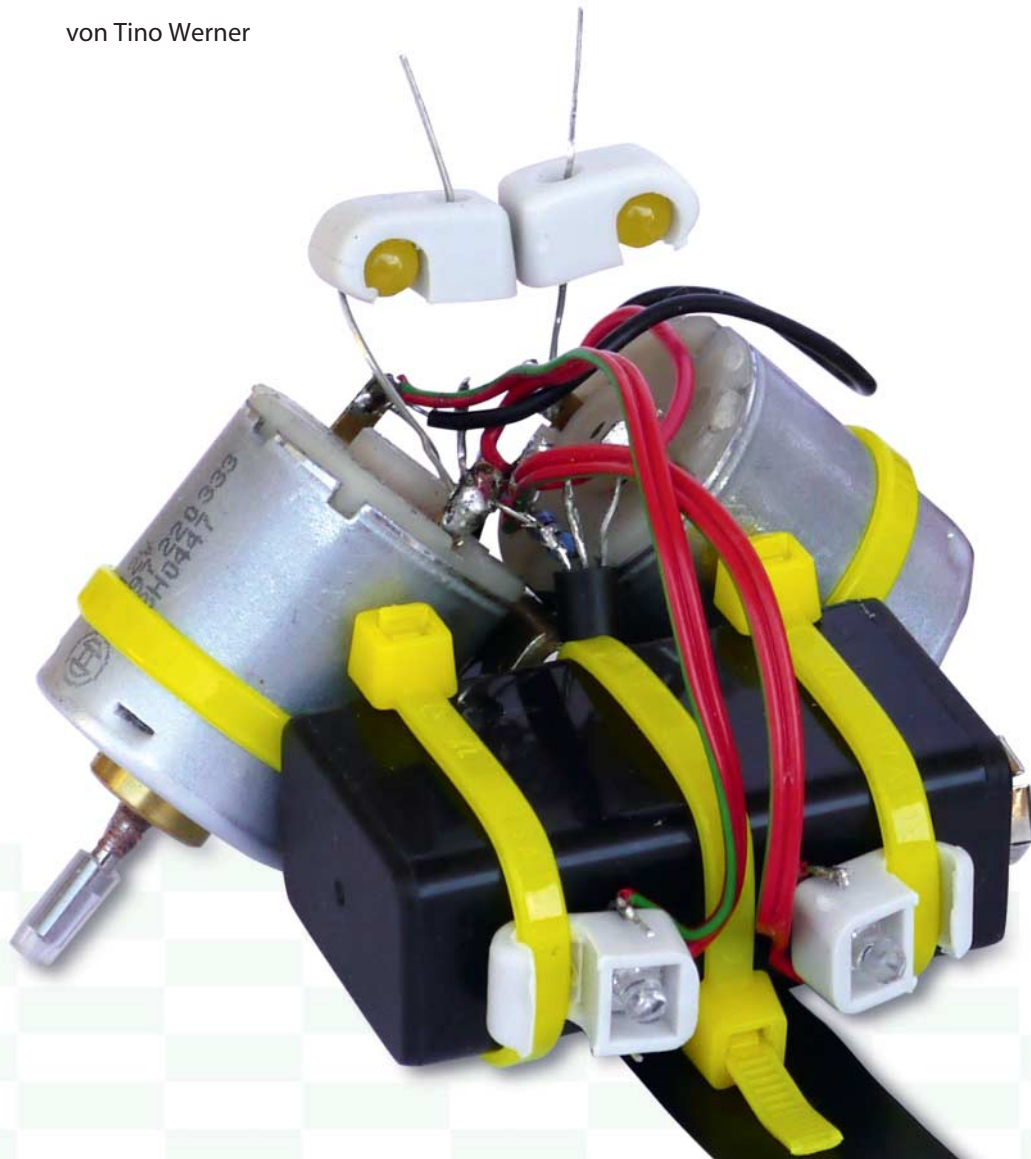


Analog geht's auch: Mit zwei Transistoren einen mobilen Roboter steuern

Wenige Elektronikbauteile reichen aus, um einen kleinen Schildkröten-Bot zu bauen, der seine Umgebung erkundet, indem er Licht oder einer Linie auf dem Boden folgt und damit schon fast so etwas wie menschliche Emotionen nachbildet.

von Tino Werner



Kurzinfo



Zeitaufwand:
1 bis 2 Stunden



Kosten:
rund 5 Euro



Löten:
einfache Lötarbeiten



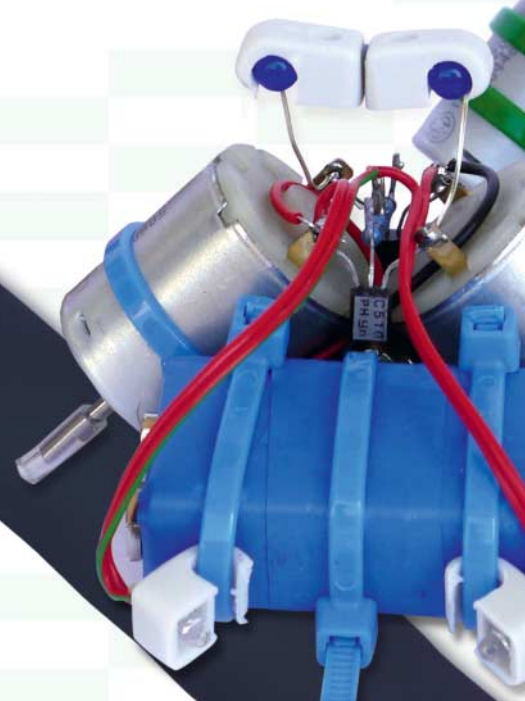
Elektronik:
Standardbauteile

Schwierigkeitsgrad

leicht schwer

Material

- » 2 DC Kleinmotoren mit ca. 8–14 V Betriebsspannung, Stromaufnahme 10–200 mA und langsame Drehzahl um die 3000 U/min
- » 2 Widerstände 4,7 M Ω
- » 1 Widerstand 150 Ω (passend zu den LEDs)
- » 2 Fototransistoren (keine FA Version), z. B. SFH 309, SFH 310 oder Vihshay S361P
- » je 1 Darlingtontransistor BC516 (PNP) und BC517 (NPN)
- » 20 cm doppeladriges Kabel
- » 2 LEDs 5 mm
- » 1 Stuhl-/Metallwinkel
- » 5 Kabelbinder
- » 4 Kabel/Nagel-Schellen (Klein, \varnothing 4–7 mm)
- » 9-Volt-Blockbatterie mit Batterieclip
- » Schlauchstück oder Schrumpfschlauch für die Motorachsen



Ein analoger Roboter verwendet einfache, nicht-digitale Schaltkreise, um Ziele zu erreichen, die keine Planung erfordern. Die ersten analogen Roboter wurden 1948 von William Grey Walter gebaut. Sie waren bereits imstande, Lichtquellen zu folgen und selbstständig eine Ladestation anzufahren, wenn die Batterie leer wurde.

Analoge Roboter

In den 90er Jahren entwickelte allen voran der Physiker Mark Tilden viele analoge Roboter, die oftmals lediglich mit diskreten elektronischen Bauteilen aufgebaut waren. Nichtsdestotrotz waren sie imstande, komplexe Bewegungen zu generieren. Weil die verwendeten Schaltkreise dabei biologische Neuronen nachahmten, hat sich für diese Konstruktionsweise der Begriff BEAM-Roboter etabliert: *BEAM* steht dabei für Biologie, Elektronik, Ästhetisch und Mechanisch. Solche analogen Steuerungen sind zwar nicht so flexibel wie jene mit Mikroprozessoren, jedoch erfüllen sie die Aufgaben, für die sie vorgesehen sind, meist sehr zuverlässig und effizient. Roboter die sowohl analoge Elektronik als auch Prozessoren enthalten, werden als „Mutanten“ bezeichnet.

Braitenberg-Vehikel

Noch bevor die BEAM-Roboter populär wurden und viele Maker auf der ganzen Welt unterschiedlichste dieser kleinen Roboterwesen kreierten, veröffentlichte 1984 der Südtiroler Hirnforscher und Kybernetiker Valentin Braitenberg seine Gedankenexperimente zu den nach ihm benannten Braitenberg-Vehikeln. Diese einfachen, mit Sensoren aus-

gestatteten Roboterfahrzeuge reagieren autark auf Umweltreize. Durch eine direkte Kopplung der Aktoren (in Form der Antriebsmotoren) an die Sensoren (gewissermaßen die Augen) werden die Antriebsräder gesteuert. Wenn auch die meisten realen Umsetzungen der Braitenberg-Vehikel fahrbar mit zwei Antriebsrädern ausgestattet sind, so könnten sie sich im Allgemeinen auch krabbelnd, schwimmend oder fliegend fortbewegen. Es ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Sensoren einsetzbar, die zum Beispiel Helligkeit, Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Schall, Magnetismus und so weiter detektieren. Ein Sensor kann dabei auf mehrere Aktoren wirken und die Art der Beeinflussung kann über beliebig komplexe mathematische Funktionen umgesetzt werden. Bereits bei sehr einfachen Arten dieser Kopplung entstehen mehr oder weniger zielgerichtete Bewegungsvarianten.

Wir sehen relativ

Die betrachteten Braitenberg-Vehikel verfügen über eine starre Korrelation von Helligkeit und Geschwindigkeit. Dadurch bedingt, stellt sich das gewünschte Verhalten nur bei einer bestimmten Entfernung und Intensität der Lichtquelle ein. Es findet also keine Anpassung an die Umgebungsbedingungen statt. In diesem Zusammenhang ist es interessant zu betrachten, wie eigentlich das menschliche visuelle System Helligkeitsinformationen verarbeitet. Hierzu im Bild rechts unten ein kleines Experiment: Welches der Quadrate ist heller, A oder B?

Bei dem Schachbrettversuch von Edward H. Adelson sieht es so aus, als sei Quadrat A dunkler als Quadrat B. Dieser Eindruck bleibt selbst dann bestehen, wenn wir uns der optischen Täuschung bereits bewusst geworden sind. Die tatsächliche Helligkeit von Feld A und B ist jedoch gleich, wie durch die hinzugefügten grauen Streifen im Bild auf der nächsten Seite deutlich wird. Dieses Beispiel demonstriert uns eindrucksvoll, dass wir eine relative Helligkeitswahrnehmung besitzen. Unsere Wahrnehmung eines Objektes bezieht sich immer auf die Helligkeit der Umgebung, die in diesem Beispiel durch den Schattenwurf des grünen Zylinders beeinflusst ist. Müssen wir dann die absolute Helligkeit vergleichen (wie bei diesem Experiment), so sind wir dazu kaum in der Lage.

An dieses Phänomen geknüpft ist die konstante Helligkeitswahrnehmung: Unabhängig davon, ob in der Dämmerung oder bei Sonnenschein betrachtet, erscheint uns ein weißes Auto immer als weiß, weil unser visuelles System die Helligkeit automatisch mit jener der Umgebung vergleicht. Eine derartige Wahrnehmung macht also durchaus Sinn, um sich in der Welt zurechtzufin-

den. Unser Auge kann zwar nur eine Helligkeitsdifferenz von mehr als 10 Prozent wahrnehmen, das jedoch auf einer unglaublich großen Skala im Bereich von 1:10 Milliarden.

Relative Sensorsignale

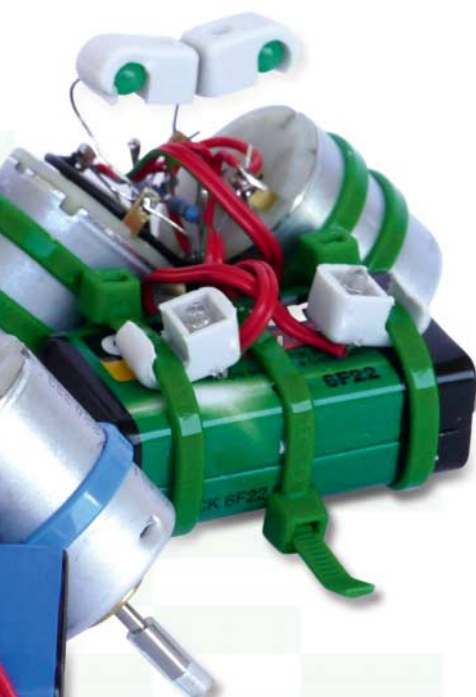
Wie könnten wir nun eine solche Anpassungsfähigkeit auf unsere analogen Vehikel übertragen? Die einfachste Methode, eine relative Helligkeitsdetektion zu erreichen, ist eine direkte physikalische Umsetzung. Dazu kombinieren wir zwei oder mehrere Sensoren mit unterschiedlichen Erfassungsbereichen in Gruppen. Anstatt absolute und unabhängige Helligkeitswerte, erhalten wir damit relative Helligkeitsinformationen über die Umgebung. Mehrere solcher Sensorgruppen in Kombination könnten ähnlich wie bei den Facettenaugen von Insekten angeordnet sein. Bei diesen wird das Signal der Sehzellen übrigens von den nachgeschalteten Neuronen nicht einfach weitergeleitet, sondern direkt ausgewertet und nur die Veränderung weitergemeldet. Durch diese Datenreduktion kann das Signal schneller und effektiver bearbeitet werden.

Das im Bild auf Seite 53 gezeigte Vehikel mit relativer Signalauswertung verfügt über zwei kombinierte Helligkeitssensoren bzw. eine Sensorgruppe. Dabei wird das Verhältnis der beiden Helligkeiten gebildet. Der relative Sensorwert wirkt dabei auf die Geschwindigkeit des einen Motors verstärkend und auf die des anderen hemmend. Bei gleichmäßiger Beleuchtung drehen die Motoren gleich schnell. Im Unterschied zu den klassischen Braitenberg-Vehikeln wird ein solches Fahrzeug weder langsamer noch schneller, wenn es sich einer Lichtquelle nähert. Unabhängig davon, ob man Fotowiderstände, Fotodioden oder Fototransistoren verwenden möchte, kann eine solche Kombination der Lichtsensoren am einfachsten durch deren Reihenschaltung als Spannungsteiler realisiert werden. Im Allgemeinen erhält man somit aus n Sensoren bis zu $n-1$ relative Helligkeitswerte. Detailliertere Informationen über Ausführungsformen derartiger Sensorgruppen sind im Patent DE 102013104578 B3 mit dem Titel „Verbes-

Bei diesem Bild unterliegt der Betrachter einer optischen Täuschung.



Bild: Edward H. Adelson



serte Steuerung für sich autonom fortbewegende Roboter“ nachzulesen. Eine kommerzielle Nutzung ist aufgrund des Schutzrechtes nicht ohne Weiteres möglich und bedarf einer Vereinbarung.

Hindernissen ausweichen

Der Schaltplan auf der nächsten Seite zeigt, wie einfach und effektiv eine Robotersteuerung mit zwei kombinierten Sensoren sowie zwei Transistoren aufgebaut werden kann. An der Vorderseite des Roboters befinden sich zwei als Spannungsteiler geschaltete Fototransistoren (auf der rechten Seite S1 und auf der linken Seite S2). Wir können uns den Fototransistor vereinfacht als einen veränderlichen Widerstand vorstellen, dessen Widerstandswert bei zunehmender Helligkeit kleiner wird. Bei der Auswahl ist darauf zu achten, dass die Sensoren keinen Tageslichtfilter verwenden. Diese haben meist ein dunkles Gehäuse und sind für Infrarotlicht optimiert, weshalb sie auf das eher kalte Licht von Energiesparlampen oder LED-Lampen kaum reagieren. Große Unterschiede gibt es auch bei deren Erfassungsbereich. Soll der Roboter auch Linien folgen können, so ist anzuraten, Sensoren mit kleinem Halbwinkel zu wählen. Dieser gibt an, in welchem Bereich ausgehend von der optischen Achse des Bauelementes die Empfindlichkeit größer als

50 Prozent der maximalen Empfindlichkeit ist. Der Fototransistor SFH 309 verfügt zum Beispiel über einen recht kleinen Halbwinkel von ± 12 Grad, beim alternativ benutzten Vishay S361P liegt er bei 25 Grad.

Die von den Sensoren generierte Steuerungsspannung U_s steuert über jeweils einen Transistor den rechten (M1) bzw. linken (M2) Motor an. Damit bei steigender Spannung der Motor M1 langsamer wird und bei fallender Spannung der Motor M2, verwenden wir ein komplementäres Transistorpaar: Einen PNP-Transistor für T1 und einen NPN-Transistor für T2. Zudem soll unser kleiner Roboter mit möglichst wenig Licht, sprich mit kleinen Steuerströmen auskommen. Geeignete Transistoren sind Darlingtontansistoren wie etwa die Typen BC516 (PNP) und BC517 (NPN). Sie verfügen über eine Stromverstärkung von mindestens 30 000. Weil ein Darlingtontansistor aus zwei Transistorstufen besteht, benötigt er nicht 0,7 V, sondern eine Basis-Emitter-Spannung von etwa $U_{BE} = 1,4$ V um durchzuschalten. Liegt U_s zwischen 1,4 V und 7,6 V ($9\text{ V} - 1,4\text{ V} = 7,6\text{ V}$) werden also beide Motoren mehr oder weniger stark angesteuert. Der Geschwindigkeitsverlauf hängt dabei von der Wahl der vorgeschalteten Widerstände R1 und R2 ab. Je höher die Widerstandswerte gewählt werden, desto langsamer steigt die Geschwindigkeit der Motoren bei $U_s > 1,4$ V (M2) bzw. $U_s < 7,6$ V (M1) an.

PHI
Der Halbwinkel φ gibt an, bei welchem Öffnungswinkel die Hälfte der Empfindlichkeit erreicht wird.

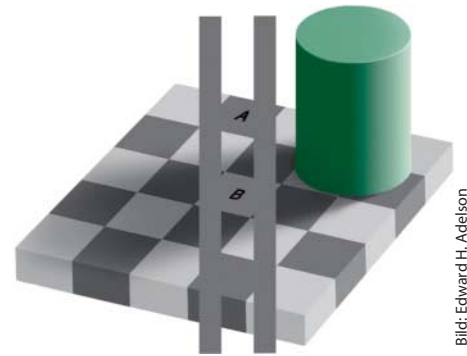


Bild: Edward H. Adelson

Hier wird es deutlich: Beide Felder weisen die gleiche Helligkeit auf.

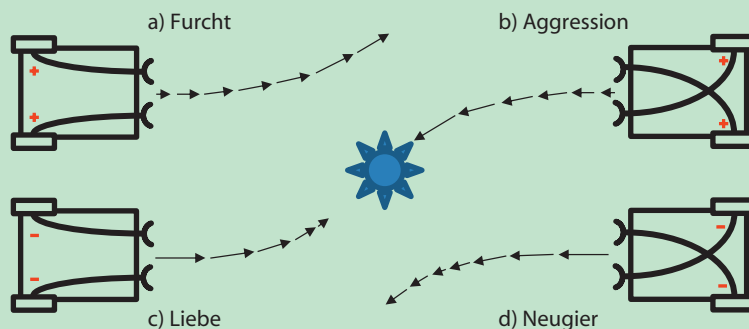
Bei exakt gleich starker Beleuchtung der beiden Sensoren S1 und S2 ergibt sich die halbe Batteriespannung als Steuerungsspannung $U_s = 4,5$ V. Beide Transistoren steuern gleichermaßen durch und die Motoren drehen gleich schnell. Wird nun exemplarisch S2 etwas heller beleuchtet, so verringert sich sein Widerstand gegenüber S1 und die Spannung U_s fällt ab. Demzufolge verringern sich der Spannungsabfall an R2 und damit der Basisstrom von T2. Der Transistor steuert weniger stark durch und M2 wird langsamer. Das Gefährt wendet sich also zur Helligkeit hin. Somit haben wir einen wirklich simplen „Lichtfolger“ kreiert. Der Roboter kann sich aber nicht nur auf eine definierte Lichtquelle zubewegen, wie wir es bereits von den Braitenberg Vehikeln kennen. Aufgrund der relativen Helligkeitswahrnehmung, wandelt er

VIER KLASSISCHE BRAITENBERG-VEHIKEL

Jedes Fahrzeug besitzt zwei Helligkeitssensoren auf der Vorderseite und die Abhängigkeit der Motoren von den Sensoren erfolgt linear. Wir variieren lediglich folgende zwei Parameter: Der jeweils gekoppelte Motor und Sensor liegt auf derselben Seite des Vehikels oder auf der gegenüberliegenden sowie der Einfluss des Sensors wirkt verstärkend (Plus: je heller desto schneller) oder hemmend (Minus: je heller desto langsamer).

Nähert sich eines der Vehikel nun einer Lichtquelle, so ergeben sich folgende vier Verhaltensmuster:

a) Es wird schneller und wendet sich vom Licht ab
b) Es wird schneller und fährt auf das Licht zu.
c) Es wird langsamer und fährt auf das Licht zu.



Durch Änderung der Sensoranschlüsse entstehen neue Verhaltensmuster.

d) Es wird langsamer, wendet sich jedoch vom Licht ab (um ein neues zu „suchen“). Braitenberg zog Parallelen zu simplen biologischen Lebensformen und verglich die

Verhaltensweisen seiner künstlichen Wesen mit Emotionen wie Furcht, Aggression, Liebe oder Neugier, die nur allzu menschlich wirken.

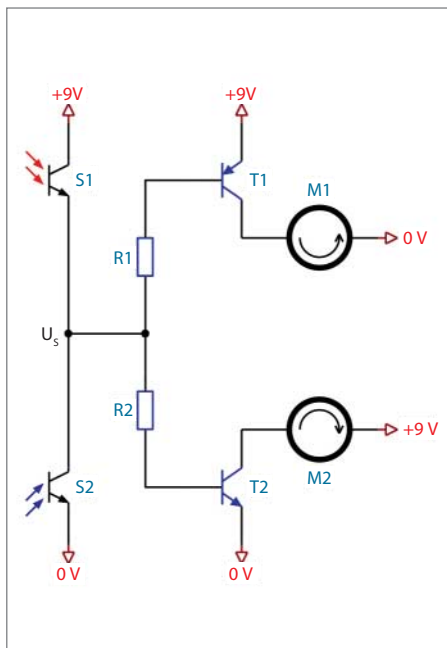
jeglichen Kontrast eines Hindernisses bezogen auf den Hintergrund in eine entsprechend starke Ausweichbewegung um.

Aus der Sicht des Roboters erscheinen Hindernisse bei einer Beleuchtung von oben in der Regel dunkler als der Untergrund. Jedes Element besitzt nämlich Eigenschattenverläufe und wirft Schlagschatten. Bei entsprechender Konstruktion „sieht“ der Roboter auch seinen eigenen Schatten auf einem Objekt, wenn er sich diesem nähert. Der dem Objekt zugewandte Sensor erkennt dies als dunkler und bewirkt eine entsprechende Drehung des Vehikels weg vom Hindernis.

Variationen

Trotz des einfachen Aufbaus der Steuerschaltung haben wir einige Möglichkeiten, die Bewegungsmuster des Roboters zu beeinflussen: Sind die Sensoren wie in der Abbildung unten ausgerichtet, so folgt er, wie zuvor erläutert, Hellem und weicht Hindernissen aus. Wenn wir zusätzlich einen dritten Sensor zwischen S1 und S2 platzieren, hätten wir für jeden der Motoren ein eigenes Steuersignal (U_3) und unser Gefährt würde bei einem frontalen Hindernis stehen bleiben.

Vertauscht man die Position der beiden Sensoren S1 und S2 (oder die positive bzw. negative Beeinflussung der Motoren), so verhält er sich jedoch genau umgekehrt: Der Roboter kann dann kleinen Objekten folgen und diese vor sich herschieben. Richtet man die Sensoren dabei etwas schräg nach unten zum Boden hin, haben wir sogleich einen Linienfolger. Dabei ist es ratsam, die Sensoren möglichst parallel nach vorne auszurichten. Um direkte Einflüsse von unerwünschten



Die Beschaltung für unser einfaches Vehikel

SUBOPTIMALE ANSTEUERUNG

Halbleiter wie LEDs werden idealerweise nicht durch Veränderung der Spannung in ihrer Helligkeit variiert, sondern durch ein PWM-Signal (Pulsweitenmodulation). Auch die Geschwindigkeit von Elektromotoren lässt sich so deutlich besser kontrollieren – vor allem bei geringen Drehzahlen. Bei einer kleinen Spannung bleibt der Motor meistens einfach

stehen, anstatt langsam zu laufen. Bei PWM werden kurze Impulse mit der maximal zulässigen Spannung an den Motor abgegeben, der dadurch zuverlässig auch langsam drehen kann, bei maximalem Drehmoment. Für die Erzeugung von PWM-Signalen wird oft ein Mikrocontroller, ein Komparator oder eine Kippstufe eingesetzt.

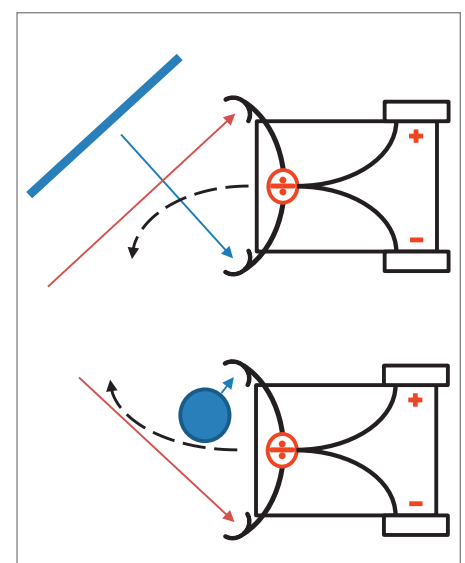
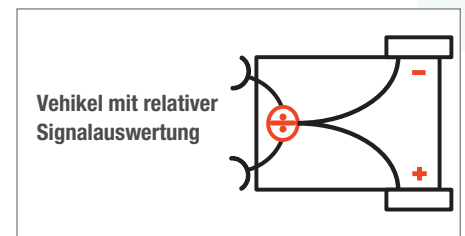
Störungen durch die Beleuchtung zu unterbinden, ist es zudem sinnvoll, die Sensoren von oben abzuschirmen, sodass kein direktes Licht (zum Beispiel Raumbelichtung, Sonnenlicht) auf die Sensoren fallen kann. Durch die Orientierung nach vorne hin und durch die Relativwertfassung kommt unserer Bot ohne Beleuchtung des Untergrundes aus. Konventionelle Linienfolger beleuchten den Boden mit Infrarot-LEDs und erfassen das reflektierte Licht mit vertikal ausgerichteten Sensoren.

Ein ganz besonderes Verhalten ergibt sich, wenn wir, wie im nebenstehenden Bild gezeigt, die Sensoren zueinanderweisend anbringen. Diese sind hier etwa 45° zur gegenüberliegenden Seite hin orientiert und ihre Empfangsbereiche sind gekreuzt. So wie beim Lichtfolger wird das Vehikel großen weiter entfernten Hindernissen frühzeitig ausweichen. Bei kleinen Gegenständen, die direkt vor ihm liegen, reagiert es jedoch genau umgekehrt. Entsprechend dem Linienfolger wendet es sich dann dem Gegenstand zu und schiebt diesen vor sich her. Diese Sensorausrichtung ermöglicht also gleich drei unterschiedliche Funktionen: einem Licht folgen, kleine Gegenstände verfolgen und (großen) Hindernissen ausweichen.

Es gibt aber noch weitere Varianten: Wir können die Sensoren auch auf der Oberseite des Vehikels anbringen. Dann flitzt der Bot (je nach Ausrichtung der Sensoren) entweder im Bereich unterhalb einer Lampe umher oder folgt dem Schatten einer Hand. Befestigen wir hingegen die Sensoren auf der Unterseite, so reagiert er auf Kontraste des Untergrundes. Beim Folgen einer Linie am Boden ist dies jedoch nicht zwingend vorteilhaft, da er dabei eventuell leichter übersteuert und ins Schwingen gerät oder auf die Sensoren zu wenig Licht trifft. Am besten einfach mal ausprobieren! Wir können die „Bodensensoren“ aber auch dazu nutzen, das Fahrzeug innerhalb eines definierten Bereichs zu halten, dessen Grenzen wir mit einem schwarzen oder weißen Klebeband festlegen.

Rückwärts fahren

Wir haben nun eine recht beachtliche Anzahl an Varianten betrachtet, die sich einzig durch unterschiedliche Positionierung der beiden Lichtsensoren ergeben. Im nächsten Heft gehen wir einen Schritt weiter. Wir werden zwischen den Sensoren S1 und S2 noch einen dritten Sensor integrieren und anstatt Transistoren Operationsverstärker verwenden, um die Motoren anzusteuern. Damit befähigen wir den Roboter, auch frontale Hindernisse zu erkennen und rückwärts zu fahren, um zum Beispiel zu drehen oder vor bewegten Hindernissen zurückzuweichen.



Ausweichen oder Erkunden

Bauanleitung minimalistischer Licht-beziehungswise Linienfolger

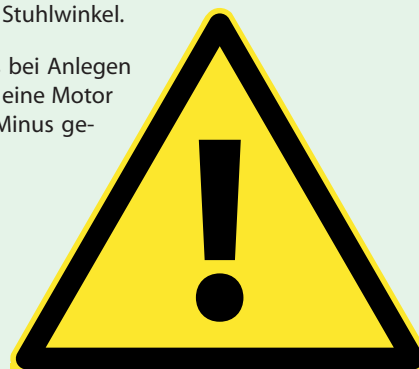
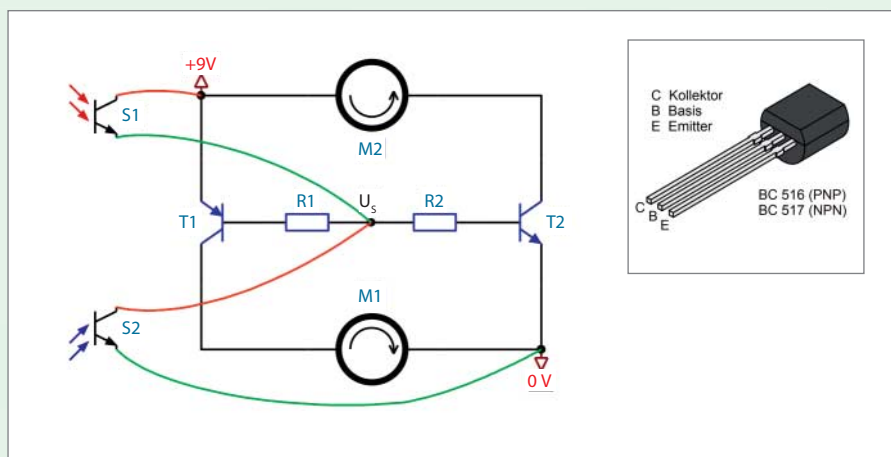
Das erklärte Ziel bei der Entwicklung dieses minimalistischen Bots war, einen multifunktionalen lichtgesteuerten Roboter auf der MakerFaire Hannover in einer Stunde selbst aufbauen zu können. Erfahrene Bastler haben vielleicht die meisten der benötigten Komponenten schon zu Hause.



1 Wir beginnen mit den Motoren

Damit die Motorachsen am Untergrund nicht durchrutschen, überziehen wir die Achse mit einem passenden Stück (Schrumpf-) Schlauch oder einer Isolierung von einem Draht. Soll unser Bot später doch noch schneller unterwegs sein, so können wir anstatt einem Schlauch z. B. auch kleine Kügelchen oder Rädchen anbringen. Wir befestigen nun die beiden Motoren mit je ein oder zwei Kabelbindern an einem kleinen Stuhlwinkel.

Die Motorkontakte werden jeweils nach vorne und hinten ausgerichtet und zwar so, dass bei Anlegen einer Spannung (Batterie) unser Gefährt sich in eine Richtung bewegt. Dazu muss sich der eine Motor mit und der andere gegen den Uhrzeigersinn drehen. Sind die Anschlüsse mit Plus und Minus gekennzeichnet, liegen sich jeweils zwei Unterschiedliche gegenüber.



Böse Falle: Die Belegung der Anschlüsse am T0-92 Gehäuse der Transistoren ist nicht einheitlich. Kollektor (C) und Emitter (E) können auch gegenüber der gängigen Anordnung vertauscht sein (etwa beim Hersteller Siemens). Bei unserem ersten Probeaufbau hatten wir auch gleich einen solchen Typen erwischt und dann lange nach dem Fehler gesucht, weil der Bot nicht so wollte, wie wir – und natürlich im Vorfeld nicht darauf geachtet hatten. Deshalb besser vorher ins Datenblatt schauen, das exakt zu dem vorhandenen Typen gehört, oder nachmessen.

2 Folge dem Licht oder der Linie

Zur besseren Orientierung haben wir den Schaltplan unserem geplanten Aufbau entsprechend dargestellt. Vergleichen wir diesen mit dem ersten Schaltplandesign, so sehen wir, dass die Motoren M1 und M2 ihren Platz gewechselt haben. Bei derselben Ausrichtung der Sensoren S1 und S2 würde der Bot also nicht Hellem, sondern Dunklem folgen.

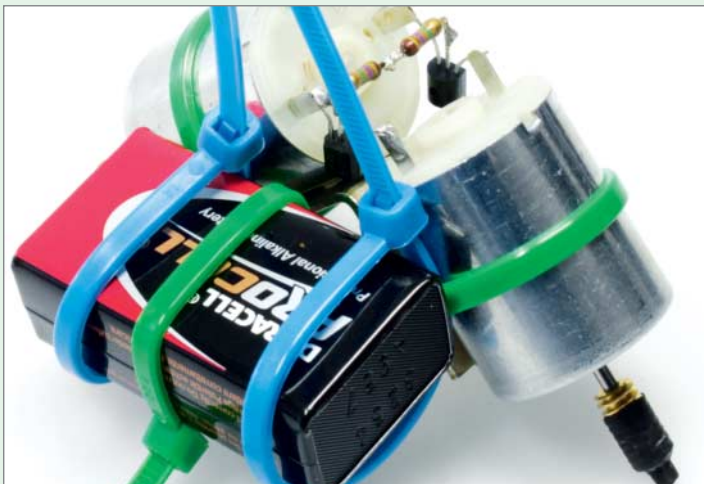


Bis die Batterie schlapp macht



Wie der Bot stetig einer Kreisbahn folgt oder mit der Taschenlampe gesteuert wird, können Sie im Video sehen.

make-magazin.de/xvx6



3 Transistoren

Nun kommen die Transistoren an die Reihe: Die Anschlussbelegung der Darlingtontransistoren BC516 (PNP) und BC517 (NPN) ist in der Abbildung zu sehen. Die äußeren beiden Beinchen (Kollektor und Emitter) biegen wir zunächst um 45 Grad vorsichtig zur Seite. Dann stecken wir sie von unten in die Lötösen der jeweils gegenüber liegenden Motorkontakte. Die Abflachungen der beiden Transistoren müssen dabei voneinander abgewandt sein. Im Fall, dass die Anschlüsse für Kollektor und Emitter vertauscht sind, weist die flache Seite nach innen. Um die Transistoren vorläufig zu fixieren, biegen wir ihre überstehenden Beinchen einmal um die Motorkontakte oder positionieren sie mit einer Dritten Hand.

4 Widerstände

Für die Wahl der Widerstandswerte für R1 und R2 benötigen wir die erwartete Stromaufnahme der Motoren aus dem Datenblatt oder einer Messung. Unsere Motoren benötigen nur etwa 10 mA. Zusätzlich wollen wir später aber auch noch die LED-Augen mit 10 mA über die Transistoren betreiben. Das ergibt in Summe 20 mA. Mit Hilfe der Stromverstärkung der Transistoren kommen wir auf den benötigten Basisstrom $I_B = 0,02/30\ 000 = 0,7\ \mu\text{A}$. Angenommen wir möchten erreichen, dass die Motoren beim Geradeausfahren (also bei $U_S = 4,5\ \text{V}$) beide mit maximaler Geschwindigkeit laufen. Bei einer geringfügigen Abweichung 4,5 V soll jedoch einer der Motoren bereits langsamer werden. Im symmetrischen Fall ergibt sich also für den Spannungsabfall an den Widerständen $U_R = U_S - U_{BE} = 4,5\ \text{V} - 1,4\ \text{V} = 3,1\ \text{V}$. Für den Widerstandswert ergibt sich: $R = U_R / I_B = 3,1 / 0,000\ 000\ 7 = 4,65\ \text{M}\Omega$. Wir entscheiden uns demnach für $R_1 = R_2 = 4,7\ \text{M}\Omega$. Für andere Motoren oder Transistoren muss der Wert eventuell angepasst werden. Alternativ können auch kleine Potis verwendet werden.

Um den Einbau zu erleichtern, verdrillen wir zunächst je einen der Anschlussdrähte miteinander und richten die Widerstände dann axial zueinander aus, bevor wir sie verlöten. Die anderen beiden Anschlussdrähte biegen wir direkt am Körper um 90 Grad und kürzen die Drähte auf eine Länge von etwa 5 mm. Nun können wir die Widerstände zwischen den Basisanschlüssen der Transistoren einlöten.

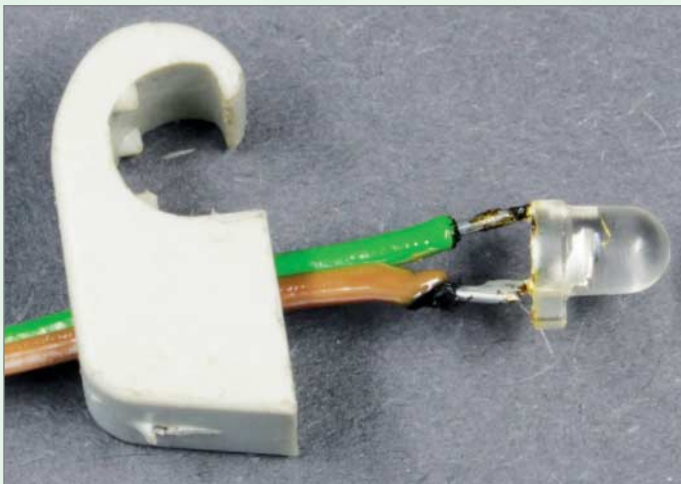
5 Batterie vorne befestigen

Im nächsten Schritt montieren wir an der Seite, an der sich der PNP-Transistor (BC516) befindet, die 9-V-Batterie. Wir fixieren diese mit zwei weiteren Kabelbindern an den Schlaufen der bereits verbauten Kabelbinder. Die Kabelbinder für die Batterie sollten nicht zu fest angezogen werden, weil wir später an ihnen die Kabelschellen für die Sensoren einhaken werden. Einen weiteren Kabelbinder platzieren wir schließlich noch in der Mitte der Batterie. Auf dessen gekürztem Ende, dass wir wie eine Gleitkufe zurechtbiegen, soll unser Bot seinen dritten Auflagepunkt haben.



6 Batterieclip

Nun stecken wir die Anschlüsse des Batterieclip in die Lötösen der Motoren (Minus: links hinten und Plus: rechts vorne) und verlöten diese gemeinsam mit den entsprechenden Anschlüssen der Transistoren. Schließen wir nun bereits die Batterie an, so sollte der noch „blinde“ Bot einfach geradeaus fahren. Die Steuerspannung U_s ist zwar noch nicht von den Sensoren definiert, es fließt jedoch bereits ein Basisstrom von einem Transistor in den anderen. Dadurch fällt an den beiden Widerständen die gleiche Spannung ab und zwischen den Widerständen stellt sich für U_s die halbe Versorgungsspannung (4,5 V) ein.



7 Die Augen einsetzen

Zur Befestigung der Sensoren verwenden wir zwei kleine Kabelschellen, sowie zwei dünne kurze Kabel, deren beide Adern farblich unterscheidbar sein sollten. Zur Befestigung gibt es zwei Möglichkeiten: Wir stecken die Kabel zunächst durch die Nagellöcher der Kabelschellen. Danach entfernen wir die Isolierung an den Kabelenden und verzinnen diese. Nun löten wir möglichst knapp am Sensorgehäuse die (im Schaltplan grün markierte) Ader an das längere Beinchen (Emitter) des Fototransistors und die andere (rote) Ader an das kürzere Beinchen (Kollektor). Beim Vishay S361P ist der Kollektor durch ein Fähnchen am Gehäuse markiert. Anschließend kürzen wir die Anschlüsse und ziehen die Sensoren in die Kabelschellen.

Alternativ bohrt man das Loch der Kabelschellen auf 3 mm auf, steckt die Beinchen der Sensoren durch und lötet die Kabel im Abstand von 5 mm an. Dann knickt man die Beinchen um 90 Grad auseinander und um weitere 90 Grad nach vorne zusammen, bevor man sie schließlich kürzt.



8 Verbinden der Fototransistoren

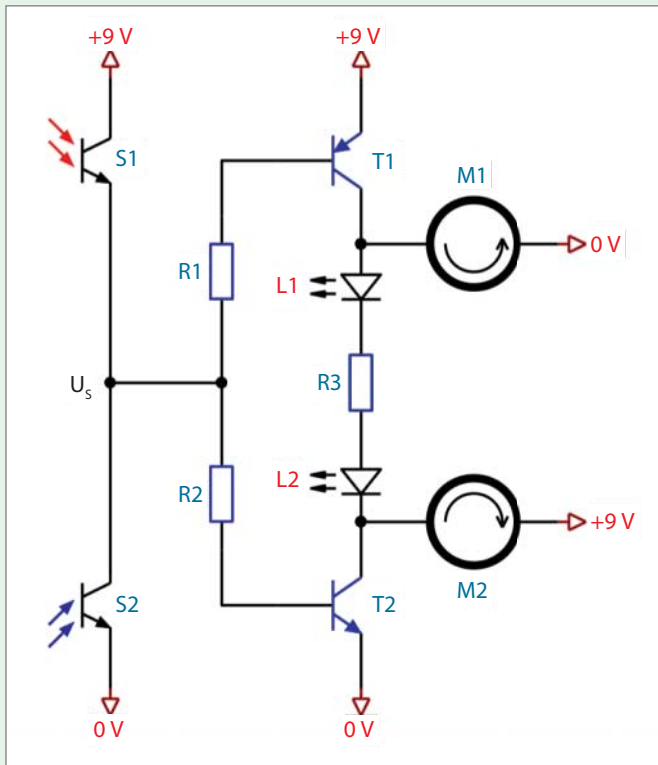
Das Kabelende des Emitters eines Sensors (grün) wird mit dem Kabelende des Kollektors (rot) des anderen Sensors verbunden und gemeinsam an die Verbindungsstelle (U_s) der beiden Widerstände gelötet. Die verbleibende (rote) Kollektor-Leitung löten wir dann an den Plus-Kontakt und die verbleibende (grüne) Ader für den Emitter an den Minus-Kontakt der Motoren.

Schlussendlich montieren wir die Sensoren mit den Schellen an den Schlaufen der äußeren beiden Kabelbinder an der Batterie.



9 Scheinwerfer-Augen

Jetzt fehlen unserem kleinen Flitzer nur noch die LED-Scheinwerfer. Dadurch sieht unser Bot aus, als hätte er Augen – auch wenn seine tatsächlichen „Augen“ woanders sitzen. Die LEDs sollen dann leuchten, wenn der Bot eine Lichtquelle oder einen Schatten genau vor sich hat, sprich: Wenn beide Motoren drehen ...



... Der Schaltplan zeigt, wie die LEDs mit einem passenden Vorwiderstand R3 integriert werden, sodass sie umso heller leuchten, je stärker beide Transistoren durchschalten. Für die richtige Wahl des Vorwiderstandes müssen wir berücksichtigen, dass an jedem der Transistoren eine Sättigungsspannung von etwa $U_{CE} = 0,75 \text{ V}$ abfällt. Die notwendige Spannung für blaue LEDs beträgt jeweils 3 V (bei roten LEDs wären es ca. 2 V). Für den Widerstand verbleiben demnach: $U_{R3} = 9 \text{ V} - 2 \times 3 \text{ V} - 2 \times 0,75 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$. Bei einem Strom von 10 mA ergibt sich also ein Widerstand von $R3 = 1,5 \text{ V} / 0,01 \text{ A} = 150 \Omega$. Wir löten nun das längere Beinchen (Anode) der linken LED an den vorderen Kontakt des linken Motors und das kürzere Beinchen (Kathode) der rechten LED an den hinteren Kontakt des rechten Motors. Dann biegen wir die zwei anderen Beinchen der LEDs um 90° zueinander und kürzen sie auf eine Länge von 5 mm.

Ebenso kürzen wir die Beinchen des 150-Ω-Widerstandes auf 5 mm und löten diesen zwischen die beiden LEDs. Schlussendlich können wir noch jeweils eine Kabelschelle auf die LED-Augen stecken (und mit einem Tropfen Heißkleber fixieren). Et voilà: Unser kleine Bot ist bereit, die Welt zu erkunden!

—fls

Links und Foren
make-magazin.de/xvx6

Anzeige