

Der balancierende Roboter

Regelung eines Mini-Segways



Lernziele

- ▶ Erkennen was ein *instabiles System* und *unteraktuiert* ist
- ▶ Wissen was man regeln muss
- ▶ Verstehen des Rückkopplungsprinzips



Instabile Systeme



Instabile Systeme

- ▶ Ein instabiles System bedeutet, dass das System ohne zusätzliche Hilfe zusammenbricht oder explodiert



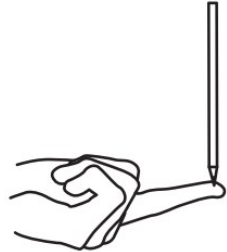
Instabile Systeme

- ▶ Ein instabiles System bedeutet, dass das System ohne zusätzliche Hilfe zusammenbricht oder explodiert
- ▶ Einige Systeme sind grenzstabil, das heißt sie werden instabil, wenn bestimmte Bedingungen nicht erfüllt sind.
- ▶ Minseg, Segway und das Balancieren eines Stiftes mit dem Finger sind eigentlich grenzstabile Systeme!



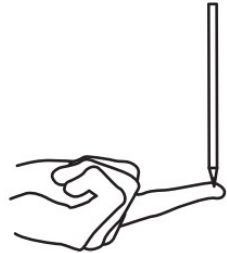
Instabile Systeme

- ▶ Ein instabiles System bedeutet, dass das System ohne zusätzliche Hilfe zusammenbricht oder explodiert
- ▶ Einige Systeme sind grenzstabil, das heißt sie werden instabil, wenn bestimmte Bedingungen nicht erfüllt sind.
- ▶ Minseg, Segway und das Balancieren eines Stiftes mit dem Finger sind eigentlich grenzstabile Systeme!
- ▶ Manchmal ist es jedoch so schwierig, ein grenzstabiles System am Gleichgewichtspunkt zu halten, dass sie praktisch instabil sind.
- ▶ Schon die geringste Luftbewegung führt dazu, dass der Stift kippt und zu fallen beginnt.



Instabile Systeme

- ▶ Ein **instabiles System** bedeutet, dass das System ohne zusätzliche Hilfe zusammenbricht oder explodiert
- ▶ Einige Systeme sind **grenzstabil**, das heißt sie werden instabil, wenn bestimmte Bedingungen nicht erfüllt sind.
- ▶ Minseg, Segway und das Balancieren eines Stiftes mit dem Finger sind eigentlich grenzstabile Systeme!
- ▶ Manchmal ist es jedoch so schwierig, ein grenzstabiles System am Gleichgewichtspunkt zu halten, dass sie praktisch **instabil** sind.
- ▶ Schon die geringste Luftbewegung führt dazu, dass der Stift kippt und zu fallen beginnt.



Fällt Ihnen noch ein anderes Beispiel ein?

Unteraktuierte Systeme



Unteraktuierte Systeme

- ▶ Wenn ein System is Unteraktuierte, bedeutet dies, dass die Anzahl der *Aktoren* am Roboter geringer ist als die Anzahl der *Freiheitsgerade*.



Unteraktuierte Systeme

- ▶ Wenn ein System is Unteraktuierte, bedeutet dies, dass die Anzahl der *Aktoren* am Roboter geringer ist als die Anzahl der *Freiheitsgerade*.
- ▶ Bei Minseg beträgt die Anzahl der Aktoren **zwei** - die Motoren
- ▶ Die Anzahl der *Freiheitsgerade* sind jedoch **drei**



Unteraktuierte Systeme

- ▶ Wenn ein System is Unteraktuierte, bedeutet dies, dass die Anzahl der *Aktoren* am Roboter geringer ist als die Anzahl der *Freiheitsgerade*.
- ▶ Bei Minseg beträgt die Anzahl der Aktoren **zwei** - die Motoren
- ▶ Die Anzahl der *Freiheitsgerade* sind jedoch **drei**
 - ▶ Der Neigungswinkel des Segways
 - ▶ Die Geschwindigkeit des Segways
 - ▶ Die Kipprichtung des Segways



Unteraktuierte Systeme

- ▶ Wenn ein System is Unteraktuierte, bedeutet dies, dass die Anzahl der *Aktoren* am Roboter geringer ist als die Anzahl der *Freiheitsgerade*.
- ▶ Bei Minseg beträgt die Anzahl der Aktoren **zwei** - die Motoren
- ▶ Die Anzahl der *Freiheitsgerade* sind jedoch **drei**
 - ▶ Der Neigungswinkel des Segways
 - ▶ Die Geschwindigkeit des Segways
 - ▶ Die Kipprichtung des Segways
- ▶ Praktisch bedeutet dies, dass wir den Roboter nur auf zwei Arten regeln können, aber die Regelung wirkt sich auf drei Aspekte aus.



Regelung

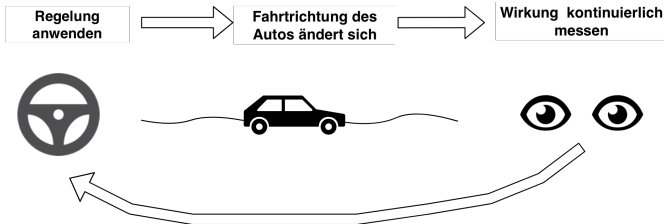


- ▶ Grundprinzip: Messen und korrigieren



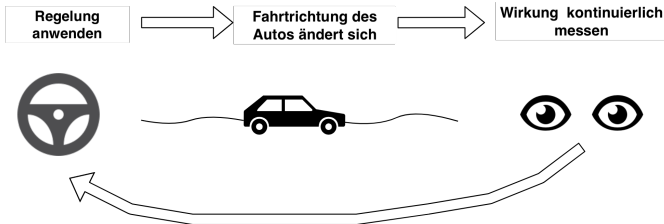
Regelung

- ▶ Grundprinzip: Messen und korrigieren
- ▶ Wenn Sie ein Auto in einem Videospiel fahren, beobachten Sie, wie sich Ihr Auto bewegt. Anhand dessen, was Sie mit Ihren Augen wahrnehmen, nehmen Sie mit dem Gamepad kleine Korrekturen vor, um den Fehler in der Trajektorie zu korrigieren und das Auto in der Spur zu halten.
- ▶ Dies ist die Grundlage der **Regelung mit negativer Rückkopplung**:



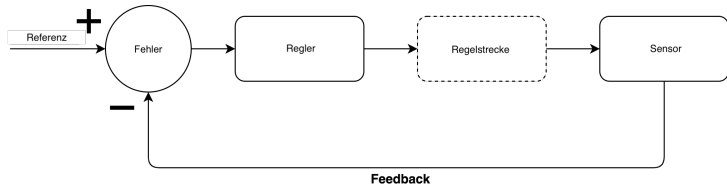
Regelung

- ▶ Grundprinzip: Messen und korrigieren
- ▶ Wenn Sie ein Auto in einem Videospiel fahren, beobachten Sie, wie sich Ihr Auto bewegt. Anhand dessen, was Sie mit Ihren Augen wahrnehmen, nehmen Sie mit dem Gamepad kleine Korrekturen vor, um den Fehler in der Trajektorie zu korrigieren und das Auto in der Spur zu halten.
- ▶ Dies ist die Grundlage der **Regelung mit negativer Rückkopplung**:



- ▶ Hier fungiert das Gehirn als **Regler**, die Fahrbahn des Autos ist **der Prozess** und die Augen führen **die Messung** durch. Dann berechnet das Gehirn anhand der Messung **den Fehler** aus der Differenz zwischen **der Referenzstrecke** und der Messung!

► Regelkreis mit negativer Rückkopplung



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil I

- ▶ Um **den Fehler** zu berechnen, müssen wir den Winkel des Körpers kennen.



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil I

- ▶ Um **den Fehler** zu berechnen, müssen wir den Winkel des Körpers kennen.
- ▶ Es reicht jedoch nicht aus, nur zu wissen, wie groß der Fehler ist.



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil I

- ▶ Um **den Fehler** zu berechnen, müssen wir den Winkel des Körpers kennen.
- ▶ Es reicht jedoch nicht aus, nur zu wissen, wie groß der Fehler ist.
 - ▶ Wir müssen auch darauf reagieren, *wie schnell* sich der Fehler ändert.
 - ▶ Daher müssen wir **die zeitliche Ableitung des Fehlers** berechnen.



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil I

- ▶ Um **den Fehler** zu berechnen, müssen wir den Winkel des Körpers kennen.
- ▶ Es reicht jedoch nicht aus, nur zu wissen, wie groß der Fehler ist.
 - ▶ Wir müssen auch darauf reagieren, *wie schnell* sich der Fehler ändert.
 - ▶ Daher müssen wir **die zeitliche Ableitung des Fehlers** berechnen.
- ▶ Wenn wir wollen, dass der Roboter so funktioniert, wie wir es wollen, müssen wir versuchen *einem Referenzwert* zu folgen.



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil II

- ▶ Allerdings haben nicht alle Systeme eine 1:1-Beziehung zwischen dem Referenzwert und der Ausgabe oder dem Messwert!



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil II

- ▶ Allerdings haben nicht alle Systeme eine 1:1-Beziehung zwischen dem Referenzwert und der Ausgabe oder dem Messwert!
- ▶ Daher kann auch der akkumulierte Fehler, also das Zeitintegral des Fehlers, betrachtet werden.
- ▶ Das Zeitintegral des Fehlers zwingt das System, dem von Ihnen gewünschten Wert zu folgen, da das vorzeichenbehaftete Integral ständig in seiner Größe zunimmt, bis der korrekte Ausgabewert erreicht ist.
- ▶ Das hat auch einen Nebeneffekt. Welcher könnte das sein?



Was benötigen wir, um den Minseg zu regeln? - Teil II

- ▶ Allerdings haben nicht alle Systeme eine 1:1-Beziehung zwischen dem Referenzwert und der Ausgabe oder dem Messwert!
- ▶ Daher kann auch der akkumulierte Fehler, also das Zeitintegral des Fehlers, betrachtet werden.
- ▶ Das Zeitintegral des Fehlers zwingt das System, dem von Ihnen gewünschten Wert zu folgen, da das vorzeichenbehaftete Integral ständig in seiner Größe zunimmt, bis der korrekte Ausgabewert erreicht ist.
- ▶ Das hat auch einen Nebeneffekt. Welcher könnte das sein?
- ▶ Einige Systeme sind selbstregulierende Prozesse, das heißt, dass der Prozess an sich eine Integration beinhaltet und keine integrale Regelung erforderlich ist.
- ▶ Wenn Sie daran interessiert sind, diese Systeme zu identifizieren und mehr Regelungsmethoden zu erlernen, sind Sie herzlich eingeladen, sich mit der Regelungstheorie zu befassen!

