

Vorhersage der Ballbewegung in der RoboCup Standard Platform League

Carolin Gümpel¹

Abstract: Die Ballerkennung ist ein essentieller Bestandteil im Roboterfußball. Anhand der Position des Balles entscheiden die Roboter über ihre Bewegungen und es wird die beste Spielstrategie festgelegt. Doch schon durch einen sanften Schuss kann sich die Ballposition schnell um eine weite Distanz verändern. Für ein geschicktes Verhalten der Roboter in diesem Moment ist es von Vorteil, abschätzen zu können, wohin genau der Ball rollen wird. Vor allem der Torwart muss jederzeit genau wissen, ob und wann der Ball das Tor erreicht. In dieser Arbeit wird ein neuartiges Modell zur Ballvorhersage mit speziellem Fokus auf die Anwendung in der RoboCup Standard Platform League vorgestellt. Dabei wird besonders Wert auf die Vorhersage der Stoppposition des Balles gelegt. In ersten Experimenten erzielte das Modell eine Erfolgsquote von 84 %.

Keywords: Roboterfußball; Ballvorhersage; Standard Platform League

1 Einleitung

Im Bereich Roboterfußball haben sich inzwischen viele verschiedene Ligen entwickelt. Dazu zählen unter anderen die Humanoid League, Standard Platform League, Middle Size League und Small Size League [Ro12]. In jeder Liga gibt es unterschiedliche Spielbedingungen und somit spezielle Herausforderungen. In der RoboCup [Ki98] Standard Platform League spielen alle Teams mit identischen Robotern. Diese agieren völlig autonom und jeder Roboter trifft seine eigenen Entscheidungen. Trotzdem müssen die Roboter durch gute Kommunikation als Team zusammenspielen. Eine der wichtigsten Komponenten beim Zusammenspiel im Fußball ist das Passen [Ko07]. Dazu muss nicht nur der Roboter, der den Pass ausführt, den Ball in die korrekte Richtung spielen. Der Roboter, der den Ball annimmt, muss außerdem möglichst genau abschätzen können, wohin der Ball rollen wird. Im Vergleich zu menschlichen Fußballern haben die Roboter beim Passen noch eine deutlich geringere Erfolgsquote [Ab11].

Die Vorhersage, wo der Ball stoppen wird, ist auch für den Torwart extrem wichtig. Er muss schnell entscheiden können, ob und wo der Ball ins Tor rollen wird, um rechtzeitig eine Abwehrbewegung einleiten zu können. Eine mögliche Reaktion des Torwarts auf einen auf das Tor zukommenden Ball ist, sich nach rechts oder links zu werfen, um den Ball aufzuhalten. Dies führt jedoch zu schnellem Verschleiß des Roboters. Außerdem braucht der dann liegende Roboter ein paar Sekunden, um aufzustehen und um das Tor wieder schützen zu können. Aus diesen Gründen gilt es unbedingt zu vermeiden, dass der Roboter

¹ HTWK Leipzig, IMN, Karl-Liebknecht-Str.132, 04277 Leipzig carolin.guempel@stud.htwk-leipzig.de

sich aufgrund einer falschen Einschätzung der Ballstopposition unnötig auf den Boden wirft.

Eine weitere Situation, bei der die Ballvorhersage eine wichtige Rolle spielt, ist das Treffen der Entscheidung, wohin der Roboter laufen soll, um zum Ball zu gelangen [Ri08]. Die einfache Variante besteht darin, den Roboter immer direkt auf den Ball zulaufen zu lassen. Bei einem Ball in Bewegung entsteht so allerdings eine Kurve im Laufweg des Roboters. Dadurch geht wertvolle Zeit verloren und der Gegner ist eventuell schneller am Ball.

Wie man sieht, ist die Vorhersage der Ballbewegung im Roboterfußball ein wichtiger Aspekt. In der Standard Platform League besteht die Schwierigkeit bei der Ballvorhersage unter anderem darin, dass auf Kunstrasen und mit einem realistisch aussehenden Fußball gespielt wird. Dies macht die Vorhersage deutlich schwieriger als sie es auf glattem Boden mit einem regelmäßigen Ball wäre.

In dieser Arbeit wird der Bewegungspfad des Balles der RoboCup Standard Platform League untersucht. Auf Basis der Erkenntnisse zum Verlauf des Ballpfades und zu Kräften, die die Bewegung beeinflussen, wie zum Beispiel Luftwiderstand und Rollreibung, wurde ein Modell zur Ballvorhersage entwickelt. Der Fokus liegt dabei auf der Vorhersage der Stopposition des Balles. Der Bereich, in dem ein rollender Ball stoppen wird, wurde von dem entwickelten Modell bei 100 Versuchen 84 Mal korrekt vorhergesagt.

2 Stand der Wissenschaft

[Su14] beschreibt eine Methode zur Ballvorhersage im Roboterfußball auf Basis von Trigonometrie. Die Ballposition muss dazu in Koordinatenform vorliegen. Es werden für jeden Frame der Kameraaufnahmen die Differenzen zwischen den x- und y-Werten der aktuellen Ballposition und den entsprechenden Werten aus dem vorhergehenden Frame gebildet. Es wird dann ein rechtwinkliges Dreieck aufgespannt, bei welchem die berechneten Differenzen die Länge von Ankathete und Gegenkathete sind. Die Hypotenuse, welche dem zurückgelegten Weg des Balles entspricht, wird über die beiden Katheten berechnet. Aus dem so bestimmten Weg s , der initialen Ballgeschwindigkeit u , welche beim ersten Durchlauf auf Null festgelegt wird, und der Zeit t , welche einem Frame entspricht, kann die Beschleunigung a durch Formel 1 berechnet werden.

$$a = \frac{2(s - ut)}{t^2} \quad (1)$$

Die aktuelle Ballgeschwindigkeit v wird dann durch Formel 2 bestimmt.

$$v = u + at \quad (2)$$

Um die neue Position des Balles vorherzusagen, wird bei dieser Methode von einer konstanten Beschleunigung des Balles ausgegangen. So kann die Distanz, die der Ball im nächsten Frame zurücklegen wird, über das Weg-Zeit-Gesetz berechnet werden. Es wird außerdem angenommen, dass der Ball auf einem glatten Untergrund ohne Hindernisse rollt

und somit seine Richtung nicht ändert. Wird die Hypothenuse des aufgespannten Dreiecks um die berechnete Distanz verlängert, kann die vorhergesagte Ballposition am Endpunkt der Strecke abgelesen werden.

Diese Methode ermöglicht eine gute Ballvorhersage, allerdings nur für den jeweils nächsten Frame. Richtungsänderungen des Balles, welche durch die Rotation entstehen, werden nicht einbezogen. Auch der Luftwiderstand wird vernachlässigt.

In [Su14] wird außerdem Merlins Methode zur Ballvorhersage vorgestellt, welche von der Merlin Corp. entwickelt wurde. Diese Methode berechnet die Distanz zwischen den x - und y -Werten der Ballposition aus dem aktuellen Frame und dem vorhergehenden Frame und addiert diese Distanz für die Vorhersage auf die jeweiligen Werte der aktuellen Position. Diese Methode ist schnell in der Berechnung, aber laut [Su14] für langsame Bälle ungeeignet.

Eine weitere Methode zur Ballvorhersage wird in [Li02] in Form eines Echtzeitkollisionsmodells vorgestellt. Ziel dieses Modells ist die Vorhersage von Kollisionen zwischen einem Roboter und anderen Objekten. Diese können ein anderer Roboter, eine Wand oder auch der Ball sein. Für die Vorhersage wird ein Kollisionsvorhersagevektor verwendet. Dieser besteht aus den vorausgesagten Zeiten bis zur Kollision mit den verschiedenen Objekten. So kann jeder Roboter seine Bewegungen anhand des Vektors planen. Ausprobiert wurde dieses Verfahren in einem MiroSot² Roboterfußballsystem. Ein MiroSot-Spiel ist sehr schnell. Die Roboter werden von einem Spielcomputer gesteuert. Dieser bietet die für das Echtzeitkollisionsmodell benötigte Rechenleistung, welche die Nao-Roboter der Standard Platform League nicht aufbringen können.

Auch [Bu06] hat sich mit der Ballvorhersage im MiroSot-Roboterfußball beschäftigt. Die Vorhersage soll zur Verbesserung der Schussfertigkeiten beitragen. Dazu wird eine stabile Ball-Tracking-Methode, eine Methode zur Ballvorhersage und ein Ballkollisionsmodell vorgestellt. Um verlässliche Daten für eine akkurate Vorhersage zu bekommen, wird eine Historie der letzten Ballpositionen geführt. So kann der Geschwindigkeitsvektor des Balles recht genau bestimmt werden. Die Reibung wird bei der Vorhersage vernachlässigt, da sie abhängig vom Spielfelduntergrund ist und die Vorhersage bei dieser Methode nicht signifikant verbessert. Durch die Dimples im in dieser Liga verwendeten Golfball ist die Vorhersage laut [Bu06] bei langsamen Bällen sehr unsicher. Kollisionen mit Wänden oder anderen Robotern werden einkalkuliert. Durch einen Geschwindigkeitsdämpfungsfaktor wird der Geschwindigkeitsvektor reduziert, wenn es zu einer Kollision kommt. Beim Aufprall auf eine Wand wird außerdem die Bewegungsrichtung des Balles durch Spiegelung der Position vor der Kollision angepasst. Ansonsten wird die Richtung des Balles aus dem Durchschnitt der letzten vier Werte in der Historie bestimmt. Eine mögliche Kurve, die der Ball rollt, wird dadurch in der Vorhersage geglättet. Auch diese Methode ist also für den Einsatz in der Standard Platform League mit ihren eher langsamen Bällen ungeeignet.

² Micro Robot Soccer Tournament [ENW05]

[HV97] stellt ein physikalisches Modell zum Tracking und zur Vorhersage verschiedener Objekte vor. Entwickelt wurde dieses Modell für den Einsatz in der Small Size League. Das Vision-System ist extern, also nicht in den Robotern verbaut, und überblickt das gesamte Spielfeld. Berechnungen erfolgen ebenfalls auf externen Computern. Sowohl für das Objekt-Tracking als auch für die Vorhersage wird der erweiterte Kalman-Filter genutzt. Die Vorhersage wird durch die mehrfache Anwendung der in der Arbeit für das jeweilige Objekt entwickelten Gleichungen auf die aktuelle Zustandseinschätzung realisiert. Um den Ball im Kalman-Filter-Framework zu modellieren, werden Gleichungen auf Basis der Newtonschen Gesetze angewandt. Dabei wird auch ein Reibungsfaktor einbezogen. Auf Kollisionen mit einer Wand wird mit der Änderung des Vorzeichens beim x- oder y-Wert des Geschwindigkeitsvektors reagiert. Bei dieser Methode der Ballvorhersage kann der komplette Pfad des Balles über beliebig viele Zeitschritte hinweg vorhergesagt werden. Die gemachten Vorhersagen sind recht genau, werden jedoch ungenauer, je weiter in die Zukunft geblickt wird. Da auch dieses Modell für die Nutzung auf glattem Untergrund mit einem Golfball entwickelt wurde, ist außerdem fraglich, ob die Genauigkeit auch auf Kunstrasen mit einem Weichschaumball gegeben ist.

In [Ho97] wird eine auf einem Musterabgleich basierende Methode zum Objekt-Tracking vorgestellt. Um die Geschwindigkeit des Musterabgleichs zwischen zwei Frames zu erhöhen, wird eine Positionsvorhersage der Objekte im Bild eingesetzt. Der Ball wird dabei nicht extra betrachtet, sondern wie jedes andere Objekt, beispielsweise andere Roboter, behandelt. Faktoren wie die Rollreibung werden also nicht beachtet. Es wird bei der Vorhersage von einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit ausgegangen. Die vorhergesagte Position kann unter dieser Annahme durch das Extrapolieren der Positionswerte aus dem aktuellen und dem vorhergehenden Frame bestimmt werden. Die Ballvorhersage wird in diesem Modell nur für den jeweils nächsten Frame gemacht. Die Stopposition kann so also nicht ermittelt werden.

3 Herausforderungen bei einer Ballvorhersage in der Standard Platform League

Laut RoboCup Standard Platform League Regeln von 2018 muss das Spielfeld aus 8mm Kunstrasen auf einer ebenen Holzfläche bestehen [Ro]. Kunstrasen gibt schnell nach und hat viele kleine Unebenheiten. Eine Ballvorhersage wird dadurch schwieriger als auf einem harten, glatten Boden.

Der offizielle Ball ist aus Weichschaum, hat einen Durchmesser von 100 mm und wiegt 44 g. [Ro] Auf der Balloberfläche befinden sich leichte Kerben für das typische Fußballmuster sowie eine produktionsbedingte Nahtstelle, was in Abbildung 1 deutlich zu erkennen ist. Dadurch wird das Rollverhalten des Balles zusätzlich beeinflusst und teilweise unberechenbar. Außerdem hat der Ball keinen durch Dimples verringerten Luftwiderstand, wie es teilweise bei den in anderen Ligen verwendeten Golfbällen der Fall ist. Der Luftwiderstand spielt bei der Vorhersage für den Ball der Standard Platform League eine wichtige Rolle. Dadurch



Abb. 1: Ball der RoboCup Standard Platform League

kann nicht von einer gleichmäßigen Beschleunigung des Balles ausgegangen werden, sondern die quadratische Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschwindigkeit muss einkalkuliert werden.

Die Roboter und meist auch der Ball bewegen sich in der Standard Platform League im Vergleich zu den Geschwindigkeiten in anderen Ligen recht langsam. Je langsamer ein Ball ist, desto mehr weicht er von einer geraden Linie ab, was wiederum eine Schwierigkeit bei der Ballvorhersage darstellt. Die Roboter sind außerdem nicht so schnell wieder am Ball wie in anderen Ligen. Daher muss die Ballposition für einen größeren Zeitraum als nur für die direkt aufeinanderfolgenden Frames vorhergesagt werden.

4 Ballvorhersage

Da die Beschaffenheit des Spielfelds und des Balles eine punktgenaue Vorhersage der Ballposition auf Distanzen, die über ein paar Zentimeter hinaus gehen, nahezu unmöglich macht, wurde ein Modell entwickelt, um zumindest den Bereich, in dem ein rollender Ball liegen bleiben wird, zu bestimmen. Als Ausgangswerte für die Vorhersage sind die aktuelle Ballposition als (x,y) Koordinaten, die Geschwindigkeit und die Rollrichtung des Balles notwendig. Diese Werte müssen also zuvor durch geeignete Verfahren vom Roboter bestimmt werden.

Für die Entwicklung des Vorhersagemodells wurde zunächst in mehreren Versuchen der Ball über das Spielfeld gerollt und jeweils die Geschwindigkeit und die Distanz zwischen Start- und Stopposition des Balles gemessen. Um eine Vorhersage der Stopposition des

Balles machen zu können, wurde anhand dieser Werte die Beschleunigung des Balles berechnet. Die Beschleunigung ist nicht gleichmäßig. Neben der Rollreibung wirkt sich auch der Luftwiderstand merklich auf die Beschleunigung des Balles aus. Der Luftwiderstand F_L steht in quadratischer Abhängigkeit zur Geschwindigkeit v .

$$F_L = c_W * A * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (3)$$

Mit Widerstandsbeiwert $c_W = 0,45$ für Kugeln, der Querschnittsfläche $A = 0,00785 \text{ m}^2$ des Balles und der Dichte ρ der Luft.

Aufgrund der quadratischen Abhängigkeit wurde ein Regressionsverfahren angewandt, um den bei jeder Geschwindigkeit konstanten Anteil der Rollreibung an der Beschleunigung zu ermitteln. Dafür wurde eine Funktion entwickelt, welche für eine gegebene Startgeschwindigkeit und einen Rollwiderstand eine Vorhersage der Distanz, die der Ball zurücklegen wird, trifft. Das Ergebnis wird jeweils mit den in den Versuchen gemessenen Werten verglichen, um so den Fehler zu bestimmen. Der Rollwiderstand wird dann über alle Versuchsdaten optimiert, sodass der quadratische Fehler minimiert wird.

Für die Vorhersage der Stopposition des Balles wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher den Pfad des Balles schrittweise simuliert. Für ein gegebenes Zeitintervall wird jeweils die aktuelle Geschwindigkeit v , die aktuelle Beschleunigung a und die Strecke s , welche der Ball auf Basis dieser Werte in dem gegebenen Zeitintervall t zurücklegen wird, nach Formel 4 berechnet. Dies wird durchgeführt bis s kleiner als $0,001 \text{ m}$ ist. Die aktuelle Beschleunigung setzt sich jeweils aus dem immer konstanten Rollwiderstand und dem in jedem Simulationsschritt neu berechneten Luftwiderstand zusammen.

$$s = t * (v + \frac{t * a}{2}) \quad (4)$$

Durch die Addition der so berechneten Distanzen und das Wissen, in welche Richtung der Ball rollt, kann bereits eine grobe Vorhersage getroffen werden, wo der Ball stoppen wird. Aufnahmen der Ballpfade aus den durchgeführten Versuchen zeigen allerdings, dass der Ball nicht einfach geradeaus rollt, sondern immer eine leichte Kurve macht, wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Dabei fällt auf, dass die Kurve sich stärker ausprägt, je langsamer der Ball wird. Um dieses Verhalten nachzubilden, wurde im Algorithmus eine Änderung der Ballrichtung um einen festgelegten Winkel in jedem Simulationsschritt eingefügt. Dadurch, dass die Distanz in jedem Schritt kleiner wird, wirkt sich der Winkel automatisch mit abnehmender Ballgeschwindigkeit immer stärker aus. Ein auf diese Weise vorhergesagter Ballpfad ist in Abbildung 3 zu sehen.

Da die bekannten Werte zu Beginn der Simulation nur Geschwindigkeit und Richtung des Balles sind, ist es nicht möglich, den Winkel, um den die Richtung pro Simulationsschritt angepasst werden muss, zu bestimmen. Auch in der durch die Versuche und das Regressionsverfahren berechneten Beschleunigung durch die Rollreibung treten in der Realität Abweichungen auf. Diese werden verursacht durch die nicht immer exakt gleichen Umweltbedingungen, welche auf den Ball einwirken. Zum Beispiel können Unebenheiten im Kunstrasen eine Rolle spielen. Um den Fehler der Simulation darzustellen, nutzt das

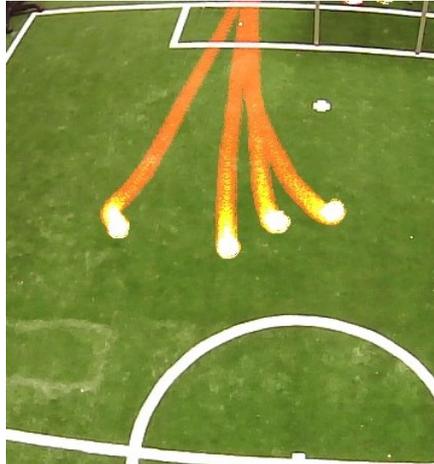


Abb. 2: Ballbewegungspfade

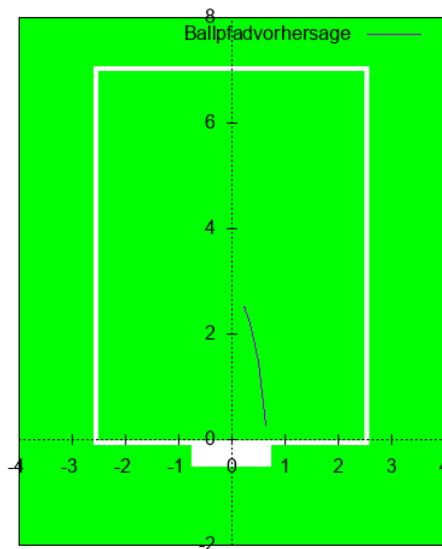


Abb. 3: Simulierter Ballbewegungspfad

Modell zufällig erzeugte, normalverteilte Werte auf der Basis der im Versuch bestimmten Werte. So wird durch mehrmaliges Durchführen des beschriebenen Algorithmus mit den verschiedenen Winkel- und Beschleunigungswerten eine Punktwolke erzeugt, in welcher mit hoher Wahrscheinlichkeit die Stopposition des Balles liegt.

Implementationsschritte für die Ballvorhersage

1. Bestimme einen zufälligen Wert für die Beschleunigung auf der Basis von Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Werte durch Anwendung einer Normalverteilung.
 2. Bestimme einen zufälligen Wert für den Richtungswinkel auf der Basis von festgelegtem Mittelwert und Standardabweichung durch Anwendung einer Normalverteilung.
 3. Definiere ein Zeitintervall für die Länge der Simulationsschritte.
 4. Tue Folgendes, solange die berechnete Distanz größer als $0,001m$ ist:
 - a) Berechne den Luftwiderstand bei der aktuellen Geschwindigkeit und kalkuliere ihn bei der Beschleunigung ein.
 - b) Berechne die Distanz, die der Ball bei aktueller Geschwindigkeit mit aktueller Beschleunigung im gegebenen Zeitintervall zurücklegen wird.
 - c) Bringe den aktuellen Geschwindigkeitsvektor des Balles auf die berechnete Länge und rotiere ihn um den gegebenen Winkel.
 - d) Addiere den Ergebnisvektor zur aktuellen Position des Balles.
 - e) Setze die neue Beschleunigung, Geschwindigkeit und Ballposition für den nächsten Schleifendurchlauf.
-

5 Auswertung

Um die Erfolgsquote des beschriebenen Ballvorhersagemodells zu prüfen, wurde die in den Versuchen bestimmten Ballstoppositionen mit dem durch den Algorithmus vorhergesagten Bereich verglichen. Die Resultate von 20 Versuchen sind in den Abbildungen 4 bis 7 dargestellt. Die roten Punkte sind dabei die gemessenen Werte, die kleinen Kreuze bilden die vorhergesagte Punktwolke. Das + vor dem Tor markiert den Startpunkt des Balles. In den dargestellten Versuchen wurden jeweils fünf Bälle in vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten über das Spielfeld gerollt. Nach diesen insgesamt 20 Versuchen befindet sich nur ein Ball deutlich außerhalb der vorhergesagten Koordinaten (siehe Abbildung 6). Es wurden für jede der vier Geschwindigkeiten noch weitere 20 Versuche gemacht, sodass die Ballstopposition insgesamt 100 Mal gemessen wurde. Dabei lagen 16 Bälle außerhalb des vorhergesagten Bereiches. Die Erfolgsquote der vorgestellten Methode liegt also bei 84 %, wenn der Ball frei rollen kann. Hindernisse werden nicht beachtet. Dabei ist der vorhergesagte Bereich nicht größer als nötig. Bei den schnelleren Bällen, welche eine relativ weite Strecke rollen, gibt es größere Abweichungen bei der Ballstopposition als bei den langsameren Bällen. Dies spiegelt sich im Vorhersagebereich wieder. Dieser ist bei einer Ball-Start-Stop-Distanz von 3,30 m etwa $1 m^2$ groß, bei einer Distanz von etwa 1,20 m nur rund $50 cm^2$. Dies ist beides völlig ausreichend, um dem Roboter eine Richtung vorzugeben,

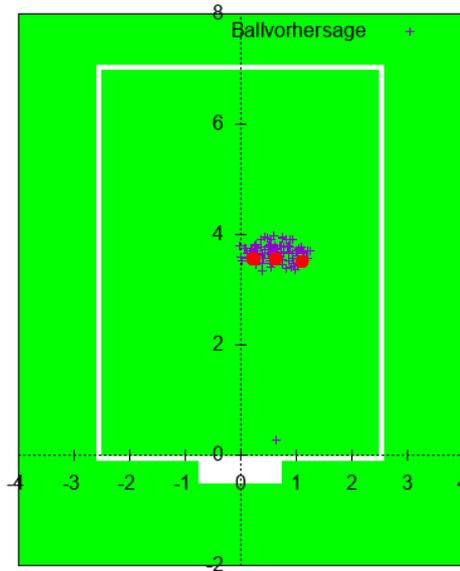


Abb. 4: Vorhergesagte und reale Stoppositionen vom Ball mit einer Startgeschwindigkeit von $1,5 \text{ m s}^{-1}$

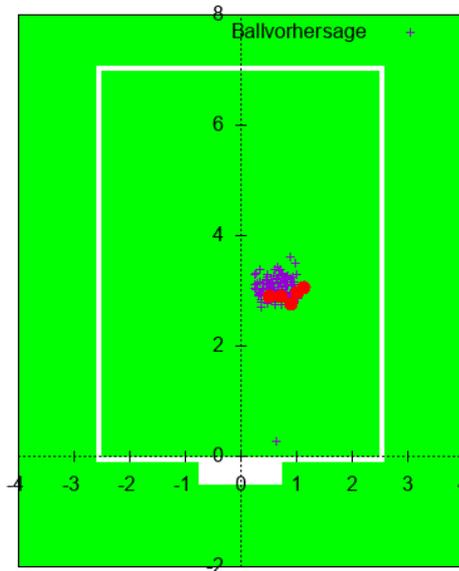


Abb. 5: Vorhergesagte und reale Stoppositionen vom Ball mit einer Startgeschwindigkeit von $1,37 \text{ m s}^{-1}$

in die er sich bewegen muss. Auch eine gute Abschätzung, ob der Ball ins Tor gehen wird, ist damit möglich.

Die hier vorgestellte Methode der Ballvorhersage ist auf unregelmäßigem Boden mit einem ebenfalls leicht unregelmäßigem Ball besser geeignet als die bereits bekannten Methoden aus der RoboCup Small Size League. Dort besteht das Spielfeld aus einer Filzmatte mit flachem, hartem Untergrund. Als Ball wird in dieser Liga ein Golfball verwendet. [Ru] Die Dimples auf der Oberfläche eines Golfballes verringern den Luftwiderstand des Balles deutlich [Sh14]. Das Rollverhalten des Balles in der Small Size League ist folglich gleichmäßiger und vorhersehbarer als in der Standard Platform League.

Da die Roboter der Standard Platform League viel langsamer sind als die der Small Size League oder die beim MiroSot, besteht das primäre Ziel nicht darin, den Ball auf seinem Weg abzufangen, wie in den meisten bekannten Methoden. Dies wäre aufgrund der fehlenden Geschwindigkeit sowieso nur möglich, wenn der Roboter sich zufällig sehr nah am Ballpfad befindet. Somit ist es nicht notwendig, den gesamten Ballverlauf perfekt vorherzusagen, sondern nur die Stopposition des Balles. So kann der Roboter direkt dorthin laufen und geht nicht immer in die Richtung, in der er den Ball sieht. Dadurch wird das Laufen einer Kurve und so der Verlust wertvoller Zeit verhindert. Auch für die Abschätzung, ob der Ball ins Tor gehen wird, ist nicht der gesamte Pfad, sondern nur die voraussichtliche Stopposition des Balles entscheidend.

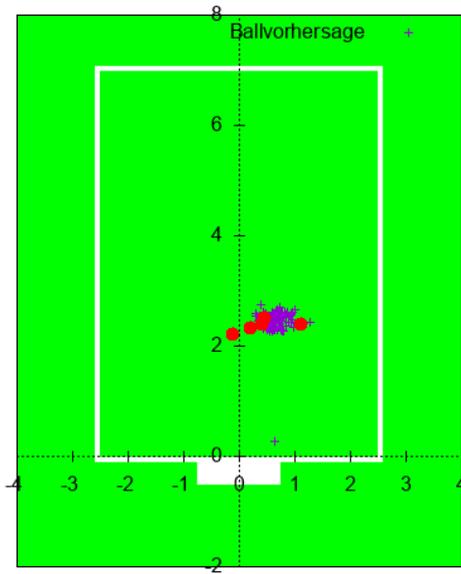


Abb. 6: Vorhergesagte und reale Stopp-
positionen vom Ball mit einer Startge-
schwindigkeit von $1,2 \text{ m s}^{-1}$

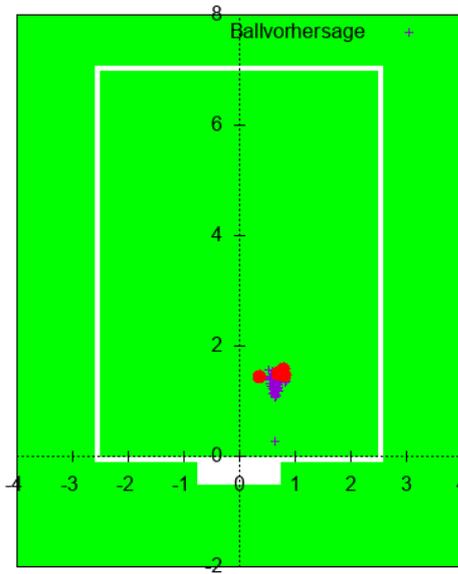


Abb. 7: Vorhergesagte und reale Stopp-
positionen vom Ball mit einer Startge-
schwindigkeit von $0,82 \text{ m s}^{-1}$

6 Fazit und Ausblick

Das entwickelte Modell zur Ballvorhersage ist sehr gut für den Einsatz in langsamen Roboterfußballspielen mit einem schwierig einzuschätzendem Ballrollverhalten geeignet. Da das Modell einen Wert für die Rollreibung benötigt, ist es sehr speziell auf die Nutzung auf einem bestimmten Boden beschränkt. Sobald es auf einem anderen Boden angewandt werden soll, muss die Rollreibung auf diesem Boden neu bestimmt werden, was mit etwas Aufwand verbunden ist.

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz der vorgestellten Vorhersagemethode ist eine sehr gute Ballerkennung. Sowohl die Ballposition als auch der Geschwindigkeitsvektor müssen möglichst exakt in die Berechnung hinein gegeben werden, um eine korrekte Vorhersage zu erhalten.

Dadurch, dass der Luftwiderstand mit einkalkuliert wird, ist die Vorhersage sowohl bei langsamen als auch bei schnellen Bällen korrekt. Der Zeitraum oder die Distanz der Vorhersage haben auf die Korrektheit keinen negativen Einfluss. Lediglich der vorausgesagte Bereich wird mit zunehmender Distanz etwas größer.

Um das Modell flexibler zu gestalten, sollte in Zukunft eine Methode gefunden werden, um die Rollreibung auf verschiedenen Böden mit relativ geringem Aufwand zu bestimmen. Durch die exaktere Bestimmung von Rollreibung und Luftwiderstand kann eventuell auch der Vorhersagebereich noch etwas eingeschränkt und somit genauer werden.

Literaturverzeichnis

- [Ab11] Abreu, P.; Costa, I.; Casteldo, D.; Reis, L. P.; Garganta, J.: Human vs. Robotic Soccer: How Far Are They? A Statistical Comparison. In: RoboCup 2010 Robot Soccer World Cup XIV. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 242–253, 2011.
- [Bu06] Buth, M. D.: Ball-handling motion control for soccer playing mini-robots. Masterarbeit, University of Twente, EEMCS: Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, 2006.
- [ENW05] Egly, U.; Novak, G.; Weber, D.: Decision making for mirosot soccer playing robots. 1st CLAWAR/EURON/IARPWorkshop on Robots in Entertainment, Leisure and Hobby, 2005.
- [Ho97] Hong, C. S.; Chun, S. M.; Lee, J. S.; Hong, K. S.: A vision-guided object tracking and prediction algorithm for soccer robots. In: Proceedings of International Conference on Robotics and Automation. S. 346–351 vol.1, April 1997.
- [HV97] Han, K.; Veloso, M.: Physical Model Based Multi-objects Tracking and Prediction in RoboSoccer. In: Working Notes of the AAAI 1997 Fall Symposium. AAAI. MIT Press, 1997.
- [Ki98] Kitano, H.; Tambe, M.; Stone, P.; Veloso, M.; Coradeschi, S.; Osawa, E.; Matsubara, H.; Noda, I.; Asada, M.: The RoboCup synthetic agent challenge 97. In (Kitano, H., Hrsg.): RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 62–73, 1998.
- [Ko07] Kobayashi, H.; Osaki, T.; Williams, E.; Ishino, A.; Shinohara, A.: Autonomous Learning of Ball Trapping in the Four-Legged Robot League. In: RoboCup 2006 Robot soccer world cup X. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 86–97, 2007.
- [Li02] Liu, H.; Zha, H.; Chen, K.; Wang, P.: A New Real-time Collision Prediction Model for Soccer Robots. National Lab. on Machine Perception, Peking University, 100871, China, 2002.
- [Ri08] Ribeiro, F.; Moutinho, I.; Pereira, N.; Oliveira, F.; Fernandes, J.; Peixoto, N.; Salgado, A.: High Accuracy Navigation in Unknown Environment Using Adaptive Control. In: RoboCup 2007 Robot Soccer World Cup XI. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 312–319, 2008.
- [Ro] RoboCup Technical Committee: RoboCup Standard Platform League (NAO) Rule Book. <https://spl.robocup.org/wp-content/uploads/downloads/Rule2018.pdf>. Stand: 22.03.2019.
- [Ro12] RoboCup 2011 Robot Soccer World Cup XV. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [Ru] Rules of the RoboCup Small Size League 2019. <https://robocup-ssl.github.io/ssl-rules/sslrules.pdf>. Stand: 23.03.2019.
- [Sh14] Shonibare, O. Y.: Effect of dimples on golf balls and cars: A Review. 12 2014.
- [Su14] Sudin, M. N.; Abdullah, S. N. H. S.; Nasrudin, M. F.; Sahran, S.: Trigonometry Technique for Ball Prediction in Robot Soccer. In (Kim, J.; Matson, E. T. ; Myung, H.; Xu, P.; Karray, F., Hrsg.): Robot Intelligence Technology and Applications 2: Results from the 2nd International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications. Springer International Publishing, Cham, S. 753–762, 2014.