

Ausarbeitung

Projekt E: Forward Collision Avoidance Assist

Fahrerassistenzsysteme II2511

Berkay Özgür, C. Arda Sengenc

`berkay.oezguer@mni.thm.de`

`cagkan.arda.sengenc@mni.thm.de`

Dozent:

Prof. Dr.-Ing. Seyed Eghbal Ghobadi

30. Juli 2023

Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik

Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	System-Vision	1
2	Anforderungsanalyse	2
2.1	Use Cases - Szenarien	3
2.2	Systemarchitektur	4
3	Softwareentwurf	8
3.1	„Das Fahrzeug fährt langsam vor uns“	8
3.2	„Das Fahrzeug stoppt vor uns“	9
3.3	„Ausweichmanöver“	10
4	Testdokumentation	12
4.1	Use Case „Forward Collision Warning“	12
4.2	Use Case „Automatic Emergency Braking“	12
4.3	Use Case „Automatic Obstacle Avoidance“	13
4.4	Testbericht	14
4.4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	14
4.4.2	Fazit	15
	Abbildungsverzeichnis	I

1 Einleitung

Die Collision Avoidance Assistance ist eine Forschungs- und Entwicklungsinitiative, die darauf abzielt, ein fortschrittliches System zu entwickeln, was die Sicherheit des Fahrers durch Warnungen und autonomes Eingreifen erhöht, um potenzielle Kollisionen zu verhindern. Diese Dokumentation gibt einen Überblick über das Projekt, einschließlich seiner Ziele, Schlüsselkomponenten und Funktionalitäten.

1.1 Zielsetzung

Die Hauptziele des Kollisionsvermeidungs-Assistenzprojekts sind wie folgt:

- Erhöhung der Sicherheit des Fahrers durch Erkennung und Vermeidung potenzieller Kollisionsszenarien.
- Rechtzeitige und genaue Warnungen, um den Fahrer vor möglichen Gefahren zu warnen.
- Falls erforderlich, autonom durch Bremsen oder Lenken eingreifen, um Kollisionen zu vermeiden.
- Nutzung verschiedener Sensoren, wie Radar, Kamera oder LiDAR, um die Umgebung zu überwachen und potenzielle Kollisionsrisiken zu erkennen.
- Entwicklung eines robusten und zuverlässigen Systems, das unter verschiedenen Fahrbedingungen effektiv arbeiten kann.

1.2 System-Vision

Unsere Vision ist es, ein zuverlässiges Collision Avoidance Assist-System zu entwickeln, das durch Sensoren potenzielle Kollisionen frühzeitig erkennt und den Fahrer alarmiert oder autonom eingreift, um Unfälle zu verhindern. Das Ziel ist es, die Verkehrssicherheit zu erhöhen und das Unfallrisiko zu reduzieren.

2 Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse und in Abstimmung mit dem Stakeholder haben wir folgende Funktionale- und nicht-funktionale Anforderungen für das Collision Avoidance Assist-System ermittelt. Funktionale Anforderungen:

1. System-ein- und -ausschaltung: Das System muss über einen speziellen Button im Fahrzeug ein- und ausgeschaltet werden können. Der Fahrer soll die Möglichkeit haben, das System nach Bedarf zu aktivieren oder zu deaktivieren.
2. Mindestgeschwindigkeit: Das System soll erst ab einer Mindestgeschwindigkeit von 10 km/h aktiv werden. Unter dieser Geschwindigkeit bleibt das System inaktiv, um unnötige Warnungen oder Eingriffe zu vermeiden.
3. Safety Distance Berechnung: Das System muss in der Lage sein, die Sicherheitsabstände zwischen dem eigenen Fahrzeug und vorausfahrenden Fahrzeugen zu berechnen. Basierend auf diesen Abständen soll das System potenzielle Kollisionsszenarien frühzeitig erkennen und den Fahrer entsprechend warnen oder autonom eingreifen.

Nicht-funktionale Anforderungen:

1. Zuverlässigkeit: Das System muss zuverlässig und fehlerfrei funktionieren, um die Sicherheit der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten.
2. Reaktionszeit: Das System muss schnell auf Änderungen in der Umgebung reagieren und innerhalb von Millisekunden Warnungen oder Eingriffe ausführen, um Unfälle zu vermeiden.
3. Benutzerfreundlichkeit: Die Benutzeroberfläche zur Aktivierung und Deaktivierung des Systems muss intuitiv und einfach zu bedienen sein, um eine fehlerfreie Handhabung zu ermöglichen.
4. Datenschutz und Sicherheit: Das System muss die Privatsphäre der Fahrzeuginsassen respektieren und sensible Daten sicher verarbeiten. Es darf keine unerlaubte Datenweitergabe oder unbefugten Zugriff ermöglichen.

2.1 Use Cases - Szenarien

Abschnitt	Beschreibung
Name	Forward Collision Warning
Primärer Akteur	Collision Avoidance Assist System
Weitere Akteure	Fahrer
Stakeholder Ziele	Vermeidung von Auffahrunfällen, Erhöhung der Verkehrssicherheit
Auszulösendes Ereignis	Das vorausfahrende Fahrzeug bremst plötzlich oder verlangsamt sich stark.
Beschreibung	Das System warnt den Fahrer vor einer möglichen Kollision, wenn das Fahrzeug zu nahe an einem vorausfahrenden Fahrzeug ist.
Vorbedingung	Das Collision Avoidance Assist-System ist aktiviert und einsatzbereit.
Nachbedingung	Der Fahrer wird über die mögliche Kollision informiert.
Hauptszenario	1.1. Das System überwacht kontinuierlich den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und die Relativgeschwindigkeit. 1.2. Wenn der Abstand kritisch wird und eine Kollision droht, sendet das System eine visuelle oder akustische Warnung an den Fahrer. 1.3 Der Fahrer kann entsprechend reagieren und die Geschwindigkeit reduzieren, um eine Kollision zu verhindern.

Abschnitt	Beschreibung
Name	Automatic Emergency Braking
Primärer Akteur	Collision Avoidance Assist System
Weitere Akteure	Fahrer
Stakeholder Ziele	Vermeidung von Kollisionen, Erhöhung der Verkehrssicherheit
Auszulösendes Ereignis	Das vorausfahrende Fahrzeug bremst plötzlich, fährt langsamer als uns und es besteht eine akute Kollisionsgefahr.
Beschreibung	Das System führt autonom eine Notbremsung durch, um eine Kollision mit dem vorausfahrenden Fahrzeug zu verhindern.
Vorbedingung	Das Collision Avoidance Assist-System ist aktiviert und einsatzbereit.
Nachbedingung	Das Fahrzeug wird rechtzeitig gestoppt, um eine Kollision zu verhindern.
Hauptszenario	1.1. Das System überwacht kontinuierlich den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und die Relativgeschwindigkeit. 1.2. Wenn der Abstand kritisch wird und eine Kollision droht, initiiert das System automatisch eine Notbremsung. 1.3. Der Fahrer wird über die Notbremsung informiert und kann den Eingriff abbrechen, falls erforderlich. 1.4. Das Fahrzeug wird rechtzeitig gestoppt, um eine Kollision mit dem vorausfahrenden Fahrzeug zu verhindern.

Abschnitt	Beschreibung
Name	Automatic Obstacle Avoidance
Primärer Akteur	Collision Avoidance Assist System
Weitere Akteure	Fahrer
Stakeholder Ziele	Vermeidung von Kollisionen mit Hindernissen auf der Fahrbahn
Auszulösendes Ereignis	Ein plötzlich auftretendes Hindernis blockiert den Fahrweg.
Beschreibung	Das System führt automatisch eine Lenkung durch, um das Hindernis sicher zu umfahren.
Vorbedingung	Das Collision Avoidance Assist-System ist aktiviert und einsatzbereit.
Nachbedingung	Das Fahrzeug ist sicher an dem Hindernis vorbeigefahren und eine Kollision wurde erfolgreich vermieden.
Hauptszenario	1.1. Das System überwacht kontinuierlich die Umgebung des Fahrzeugs. 1.2. Wenn ein Hindernis plötzlich auf der Fahrbahn auftaucht und eine Kollision droht, erkennt das System die Gefahr und initiiert das Ausweichmanöver. 1.3. Das System berechnet eine geeignete Ausweichroute, die sicher an dem Hindernis vorbeiführt und gleichzeitig den Verkehrsregeln und -bedingungen entspricht. 1.4. Das System führt das Ausweichmanöver durch, indem es autonom die Lenkung und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs kontrolliert. 1.5. Das Fahrzeug ist sicher an dem Hindernis vorbeigefahren, und eine Kollision wurde erfolgreich vermieden.

2.2 Systemarchitektur

Die Systemarchitektur des Collision Avoidance Assist-Systems basiert auf einem zentralen Simulink-Modell, das alle relevanten Use Cases abdeckt. Dieses Modell ist verantwortlich für die Verarbeitung der von den Sensoren erfassten Daten sowie die Entscheidungsfindung zur Kollisionsvermeidung. Das Simulink-Modell setzt sich aus verschiedenen Blöcken und Algorithmen zur Datenverarbeitung und -analyse zusammen. Es empfängt kontinuierlich Informationen von den Sensoren, die die Umgebung des Fahrzeugs überwachen.

Die Eingabeelemente des Simulink-Modells sind:

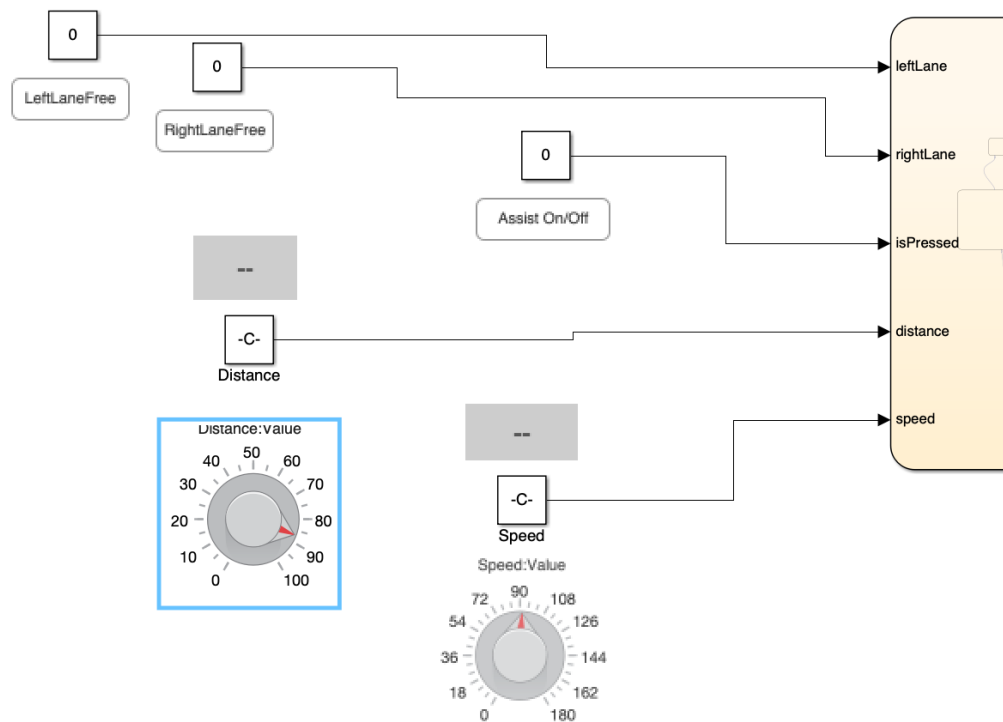


Abbildung 1: Eingabeelemente

1. Buttons für die rechte und linke Spur: Diese Buttons geben an, ob die angrenzenden Fahrspuren frei sind und ob das Fahrzeug ein Ausweichmanöver machen kann.
2. Ein Button zum Ein- und Ausschalten des Systems: Mit diesem Button kann der Fahrer das Collision Avoidance Assist-System aktivieren oder deaktivieren.
3. Drehknöpfe für Geschwindigkeit und Abstand: Diese Drehknöpfe ermöglichen es dem Fahrer, die gewünschte Geschwindigkeit des Fahrzeugs und den gewünschten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einzustellen.

Die Ausgabeelemente des Simulink-Modells sind:

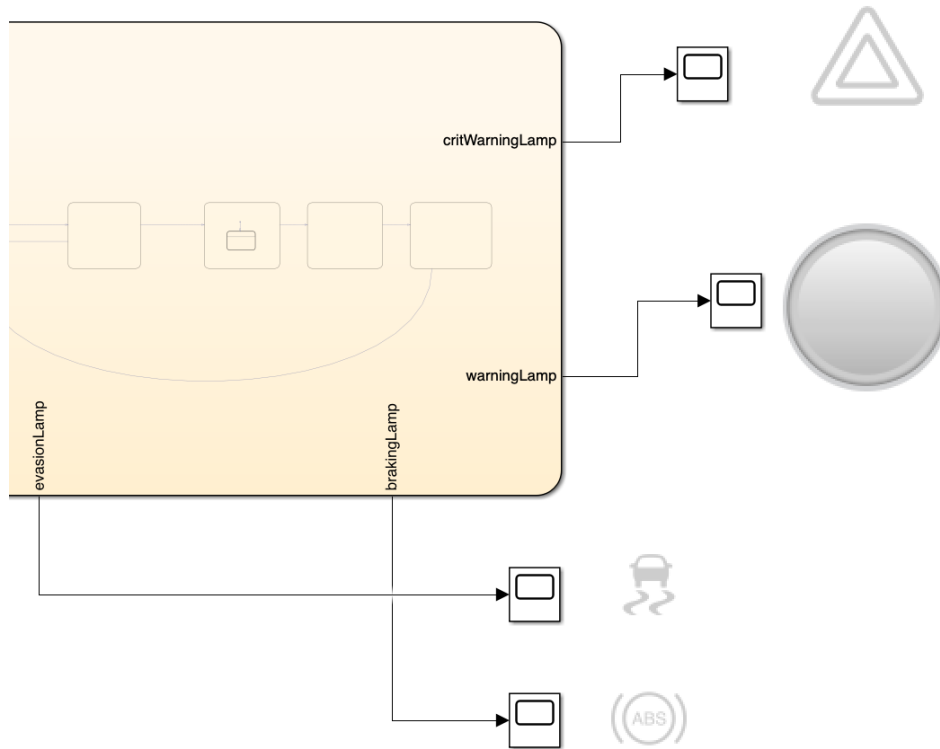


Abbildung 2: Ausgabeelemente

1. Warning Lampe: Diese Lampe leuchtet auf, wenn das System eine potenzielle Kollisionsgefahr erkannt hat und den Fahrer warnt, dass er eingreifen muss.
2. Critical Warning Lampe: Diese Lampe leuchtet auf, wenn das System eine akute Kollisionsgefahr erkannt hat und eine sofortige Reaktion des Fahrers oder des Systems erforderlich ist, um einen Unfall zu verhindern.
3. Notfallbremsen Lampe: Diese Lampe leuchtet auf, wenn das System ein Notfallbremsmanöver durchführt, um eine Kollision zu verhindern.
4. Ausweichmanöver Lampe: Diese Lampe leuchtet auf, wenn das System ein Ausweichmanöver einleitet, um eine Kollision zu vermeiden.

Die Systemarchitektur des Collision Avoidance Assist-Systems umfasst einen Superzustand mit insgesamt sechs Unterzuständen, die den Zustand des Systems während des Betriebs widerspiegeln.

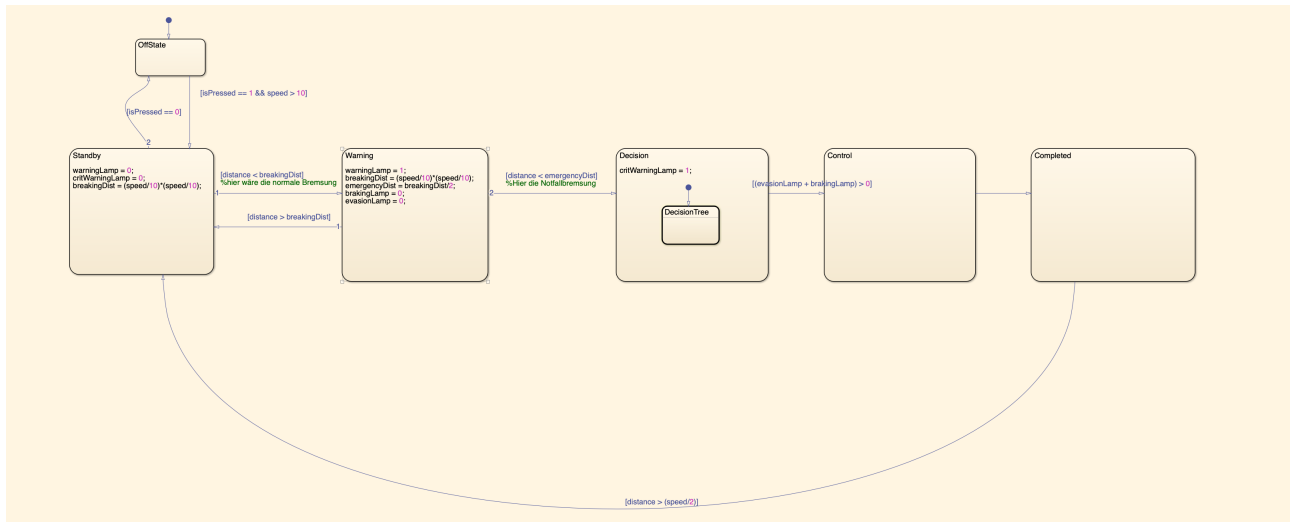


Abbildung 3: Zustände des Systems

1. **OffState**: In diesem Zustand befindet sich das System, wenn es nicht eingeschaltet ist. In diesem Modus werden keine Kollisionsvermeidungsfunktionen aktiviert, und das System bleibt inaktiv.
2. **StandBy**: Sobald das System aktiviert ist, wechselt es in den StandBy-Zustand. Hier arbeitet das System, überwacht die Umgebung, erkennt potenzielle Kollisionsszenarien, hat jedoch noch keine Gefahr erkannt.
3. **Warning**: Wenn das System eine potenzielle Kollisionsgefahr erkennt, wechselt es in den Warning-Zustand. In diesem Zustand wird die Warning Lampe aktiviert, um den Fahrer über die erkannte Gefahr zu informieren.
4. **Decision**: Im Decision-Zustand trifft das System eine kritische Entscheidung, ob eine sofortige Reaktion erforderlich ist, um eine Kollision zu verhindern. Es wird überprüft, ob das Fahrzeug gebremst werden muss oder ein Ausweichmanöver eingeleitet werden sollte.

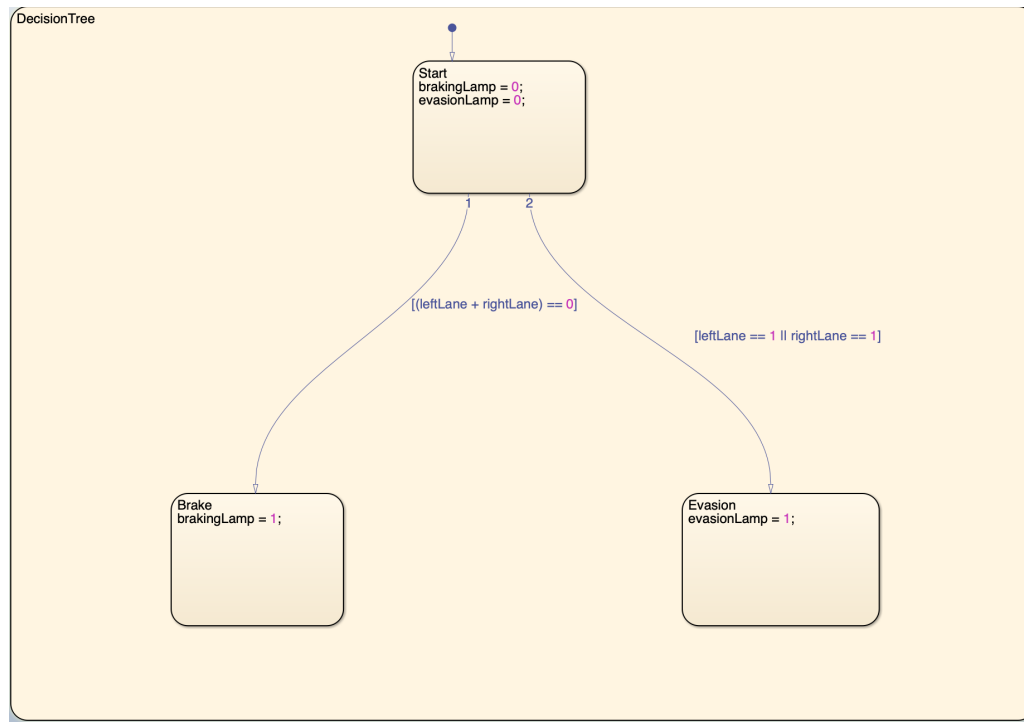


Abbildung 4: Entscheidungsmechanismus

- Brake: Wenn das System entscheidet, dass ein Notfallbremsmanöver erforderlich ist, wird es in den Brake-Unterzustand wechseln.
 - Evasion: Wenn das System entscheidet, dass ein Ausweichmanöver erforderlich ist, wird es in den Evasion-Unterzustand wechseln.
5. Control: In diesem Zustand werden die notwendigen Steuerungseingriffe durchgeführt, um das Notfallbremsmanöver oder das Ausweichmanöver zu realisieren und die potenzielle Kollision zu vermeiden.
 6. Completed: Nachdem das System das Notfallbremsmanöver oder das Ausweichmanöver erfolgreich durchgeführt hat, wechselt es in den Completed-Zustand. Hier wird die Critical Warning Lampe deaktiviert, da die Gefahr erfolgreich vermieden wurde.

3 Softwareentwurf

3.1 „Das Fahrzeug fährt langsam vor uns“

Diese Funktionalität ist darauf ausgelegt, das Verhalten des Ego-Fahrzeugs zu steuern, wenn es einem langsamer fahrenden Fahrzeug (Bremsfahrzeug) folgt. Das Programm passt die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs basierend auf dem Abstand zwischen dem Ego-Fahrzeug und dem Bremsfahrzeug an.

Komponenten:

1. Hauptschleife (Main Loop):
 - Die Hauptsteuerschleife des Programms, die unendlich läuft.

- Ruft Daten von dem Ego-Fahrzeug und dem Bremsfahrzeug (Akteure) ab und berechnet erforderliche Werte.
- Bestimmt, ob das Ego-Fahrzeug weiterfahren soll oder eine Bremsung einleiten muss.
- Wendet entsprechende Steuersignale (Gaspedal und Bremse) auf das Ego-Fahrzeug an.
- Überwacht die vergangene Zeit, um die Simulation nach einer bestimmten Dauer zu beenden.

2. Algorithmus:

- Platziere das Ego-Fahrzeug und das Bremsfahrzeug an vordefinierten Positionen auf der Straße.
- Betrete die Hauptschleife:
 - a) Erhalte die aktuelle Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs und berechne die Bremsstrecke und Notbremsstrecke basierend auf der Geschwindigkeit.
 - b) Berechne den Abstand zwischen dem Ego-Fahrzeug und dem Bremsfahrzeug.
 - c) Steuere das Bremsfahrzeug (Tesla), damit es mit etwas Gas vorwärts fährt.
 - d) Prüfe, ob der Abstand zum Bremsfahrzeug kleiner als die Bremsstrecke ist:
 - Wenn ja, prüfe, ob der Abstand kleiner als die Notbremsstrecke ist:
 - * Wenn ja, leite eine Notbremsung ein.
 - * Wenn nein, fahre weiter.
 - e) Überwache die vergangene Zeit und beende die Simulation nach einer bestimmten Dauer.
 - f) Wiederhole die Schleife, bis die angegebene Zeitdauer erreicht ist.

3.2 „Das Fahrzeug stoppt vor uns“

Diese Funktionalität ist darauf ausgelegt, das Verhalten des Ego-Fahrzeugs zu steuern, wenn es erkennt, dass das Bremsfahrzeug vor ihm angehalten hat. Das Programm führt Notbremsung ein, um eine Kollision mit dem stehenden Fahrzeug zu vermeiden.

Komponenten:

1. Hauptschleife (Main Loop):

- Die Hauptsteuerschleife des Programms, die unendlich läuft.
- Ruft Daten von dem Ego-Fahrzeug und dem Bremsfahrzeug (Akteure) ab und berechnet erforderliche Werte.
- Bestimmt, ob das Ego-Fahrzeug weiterfahren soll oder eine Bremsung einleiten muss.
- Wendet entsprechende Steuersignale (Gaspedal und Bremse) auf das Ego-Fahrzeug an.
- Überwacht die vergangene Zeit, um die Simulation nach einer bestimmten Dauer zu beenden.

2. Algorithmus:

- Platziere das Ego-Fahrzeug und das stehende Fahrzeug an vordefinierten Positionen auf der Straße.
- Betrete die Hauptschleife:
 - a) Erhalte die aktuelle Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs und berechne die Bremsstrecke und Notbremsstrecke basierend auf der Geschwindigkeit.
 - b) Berechne den Abstand zwischen dem Ego-Fahrzeug und dem stehenden Fahrzeug.
 - c) Prüfe, ob der Abstand zum Fahrzeug kleiner als die Bremsstrecke ist:
 - Wenn ja, prüfe, ob der Abstand kleiner als die Notbremsstrecke ist:
 - * Wenn ja, leite eine Notbremsung ein.
 - * Wenn nein, fahre weiter.
 - d) Überwache die vergangene Zeit und beende die Simulation nach einer bestimmten Dauer.
 - e) Wiederhole die Schleife, bis die angegebene Zeitdauer erreicht ist.
- Eine graphische Darstellung:

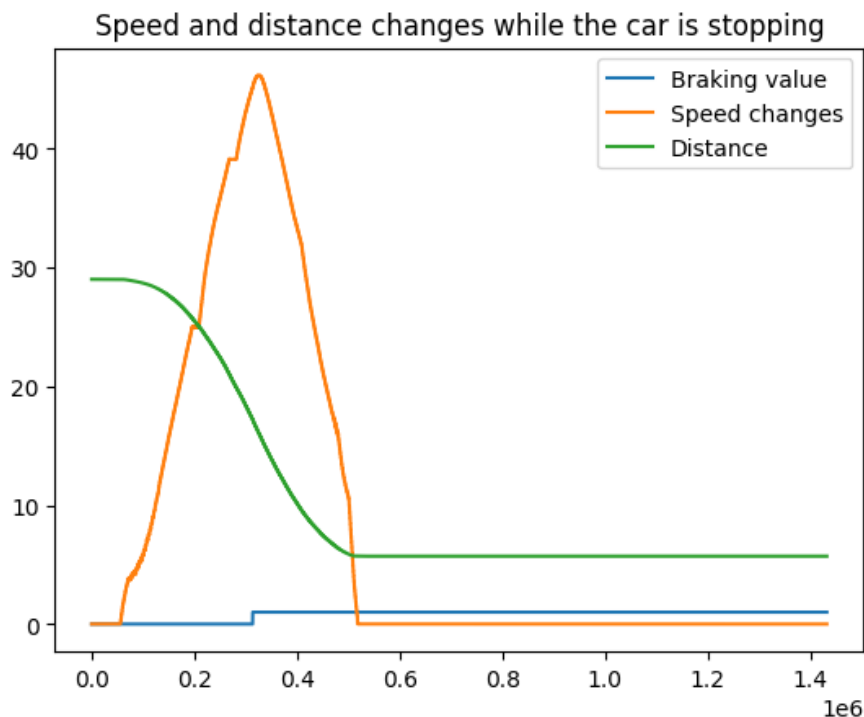


Abbildung 5: Werte einer Notfallbremsung

3.3 „Ausweichmanöver“

Diese Funktionalität ist darauf ausgelegt, ein Ausweichmanöver für das Ego-Fahrzeug durchzuführen, wenn sich ein Hindernis oder ein Bremsfahrzeug direkt vor ihm befindet. Das Programm verwendet einen PID-Regler, um das Ego-Fahrzeug sicher um das Hindernis herumzulenken und eine Kollision zu vermeiden.

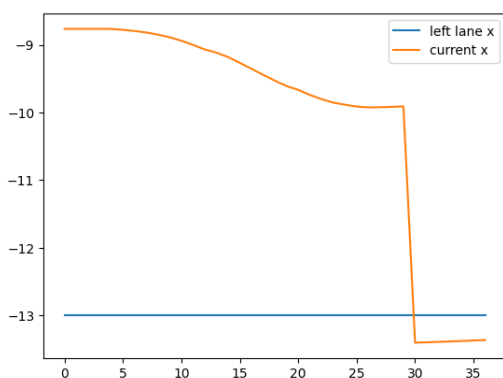
Komponenten:

1. Hauptschleife (Main Loop):

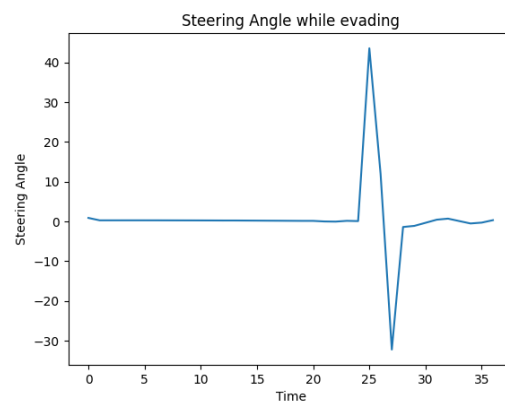
- Die Hauptsteuerschleife des Programms, die unendlich läuft.
- Ruft Daten von dem Ego-Fahrzeug und dem Hindernis/Bremsfahrzeug (Akteure) ab und berechnet erforderliche Werte.
- Berechnet den gewünschten Steuerwinkel (Steer) für das Ego-Fahrzeug, um das Ausweichmanöver auszuführen.
- Steuert das Ego-Fahrzeug entsprechend des berechneten Steuerwinkels.
- Überwacht die vergangene Zeit, um die Simulation nach einer bestimmten Dauer zu beenden.

2. Algorithmus:

- Initialisiere den PID-Regler mit optimalen PID-Verstärkungen K_p , K_i , K_d und der Abtastzeit (dt).
- Platziere das Ego-Fahrzeug und das stehende Fahrzeug an vordefinierten Positionen auf der Straße.
- Betrete die Hauptschleife:
 - a) Erhalte die aktuelle Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs und berechne die Bremsstrecke und Notbremsstrecke basierend auf der Geschwindigkeit.
 - b) Berechne den Abstand zwischen dem Ego-Fahrzeug und dem Hindernis/Bremsfahrzeug.
 - c) Berechne den gewünschten Steuerwinkel (Steer) für das Ego-Fahrzeug basierend auf der Abstandsregelung (z. B. PID-Regelung).
 - d) Steuere das Ego-Fahrzeug entsprechend des berechneten Steuerwinkels.
 - e) Überwache die vergangene Zeit und beende die Simulation nach einer bestimmten Dauer.
 - f) Wiederhole die Schleife, bis die angegebene Zeitdauer erreicht ist.
- Eine graphische Darstellung:



(a) Anpassen der X-Koordinaten des Autos



(b) Lenkwinkel im Laufe der Zeit

Abbildung 6: Graphische Darstellung eines Ausweichmanövers

4 Testdokumentation

Die Testdokumentation bildet einen integralen Bestandteil des Entwicklungsprozesses für das Collision Avoidance Assist-System. Sie basiert auf dem zuvor definierten Softwareentwurf und Architektur und enthält eine umfassende Sammlung von Testfällen und -szenarien, die entwickelt wurden, um die Funktionalität, Leistung und Sicherheit des Systems zu überprüfen. Die Tests wurden auf Basis der definierten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen entworfen, um sicherzustellen, dass das System alle gestellten Anforderungen erfüllt und zuverlässig arbeitet.

4.1 Use Case „Forward Collision Warning“

1.1. Testfall: Im kritischen Zustand kommt eine Warnung

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug hat eine Distanz von 36 Metern.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Das System warnt der Fahrer visuell mit einem gelben Licht, dass das vorausfahrende Fahrzeug nah ist und es eine Kollisionsgefahr besteht.

4.2 Use Case „Automatic Emergency Braking“

2.1. Testfall: Das vordere Fahrzeug stoppt

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug wurde irgendeinem Grund plötzlich gestoppt und hat eine Distanz von 17 Metern.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist groß genug, so dass das System in der Lage ist, das Fahrzeug stoppen zu können, ohne Kollisionen zu verursachen.
 - Das System übernimmt die Kontrolle des Fahrzeugs und wird voll-gebremst.

2.2. Testfall: Das vorausfahrende Fahrzeug fährt langsamer als uns

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug fährt langsamer als uns.
- Erwartete Ausgaben

- Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
- Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist groß genug, so dass das System in der Lage ist, das Fahrzeug verlangsamen zu können, ohne Kollisionen zu verursachen.
- Das System übernimmt die Kontrolle des Fahrzeugs und verringert die Geschwindigkeit.

4.3 Use Case „Automatic Obstacle Avoidance“

3.1. Testfall: Die linke Spur ist frei.

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug wurde irgendeinem Grund plötzlich gestoppt und hat eine Distanz von 15 Metern.
 - Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist nicht groß genug zu stoppen, ohne die Kollisionen zu verursachen.
 - Dem Algorithmus ist angegeben, dass nur die linke Spur frei ist.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass Obstacle Avoidance aktiviert wurde.
 - Das System übernimmt die Kontrolle und biegt an linke Spur, um Kollision zu vermeiden.

3.2. Testfall: Die rechte Spur ist frei.

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug wurde irgendeinem Grund plötzlich gestoppt und hat eine Distanz von 15 Metern.
 - Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist nicht groß genug zu stoppen, ohne die Kollisionen zu verursachen.
 - Dem Algorithmus ist angegeben, dass nur die rechte Spur frei ist.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass Obstacle Avoidance aktiviert wurde.
 - Das System übernimmt die Kontrolle und biegt an rechte Spur, um Kollision zu vermeiden.

3.3. Testfall: Beide Spuren sind frei.

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug wurde irgendeinem Grund plötzlich gestoppt und hat eine Distanz von 15 Metern.
 - Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist nicht groß genug zu stoppen, ohne die Kollisionen zu verursachen.
 - Dem Algorithmus ist angegeben, dass die beiden Spuren frei sind.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass Obstacle Avoidance aktiviert wurde.
 - Das System übernimmt die Kontrolle und biegt an die Spur, in der es weniger wahrscheinlich ist, eine andere Kollision zu verursachen.

3.4. Testfall: Keine Spuren sind frei.

- Eingaben
 - Fahrer aktiviert das System und fährt mit 60 km/h.
 - Das vorausfahrende Fahrzeug wurde irgendeinem Grund plötzlich gestoppt und hat eine Distanz von 15 Metern.
 - Die Distanz zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und unserem Fahrzeug ist nicht groß genug zu stoppen, ohne die Kollisionen zu verursachen.
 - Dem Algorithmus ist angegeben, dass keine der beiden Spuren frei sind.
- Erwartete Ausgaben
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass das System aktiviert wurde.
 - Das System gibt eine Rückmeldung an Fahrer, dass Obstacle Avoidance aktiviert wurde.
 - Es ist dem System bekannt geworden, dass eine Kollision in diesem Fall unvermeidbar ist. Die Richtung, die am wenigsten Schade verursacht wird ausgewählt.

4.4 Testbericht

Dieser Testbericht dokumentiert die Ergebnisse der durchgeführten Black-Box-Tests für die oben genannten Funktionen des Systems. Die Testfälle wurden gemäß den Hauptszenarien entworfen, um die Funktionalität und die Ausnahmebehandlung des Systems zu überprüfen. Insgesamt wurden in diesem Projekt 7 Black-Box-Tests durchgeführt. 4 Hauptszenarien haben den Test erfolgreich bestanden. 3 Hauptszenarien haben den Test nicht bestanden. Fehler und deren Behebung wurden intern diskutiert und bewertet.

4.4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Allgemeinen wurden von verschiedenen Herausforderungen festgestellt. Erstens - wurden manche Funktionen nicht implementiert. Dies geschah bewusst und wurde im Softwareentwurf dokumentiert. Die fehlenden Funktionen werden in der nächsten Softwareauslieferung implementiert und ausgeliefert. Begrenzte Zeit, Fristen und unzureichende Ressourcen für die Installation, Konfiguration und Nutzung von CARLA haben den Entwicklern viel Zeit gekostet. Die wichtigsten Funktionen des Use-Cases funktionieren jedoch wie erwartet und können daher an die Stakeholder ausgeliefert werden. Die fehlenden Teile werden bei der nächsten Auslieferung durch Updates abgedeckt.

4.4.2 Fazit

Die Black-Box-Tests haben gezeigt, dass nur grundlegende implementierten Systemfunktionen den Anforderungen entsprechen. Die grundlegenden Tests wurden erfolgreich abgeschlossen aber sie müssen noch verbessert werden, um alle Aspekte der Stakeholder abzudecken.

Abbildungsverzeichnis

1	Eingabeelemente	5
2	Ausgabeelemente	6
3	Zustände	7
4	Zustände	8
5	Notfallbremsung	10
6	Graphische Darstellung eines Ausweichmanövers	11