

BACHELOR THESIS
Kalvin Döge

Bestimmung einer 'Grünen Welle' bei Lichtsignalschaltungen für Alster-Fahrradfahrer durch agentenbasierte Simulation mithilfe des MARS-Frameworks

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK
Department Informatik

Faculty of Engineering and Computer Science
Department Computer Science

Kalvin Döge

Bestimmung einer 'Grünen Welle' bei
Lichtsignalschaltungen für Alster-Fahrradfahrer
durch agentenbasierte Simulation mithilfe des
MARS-Frameworks

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang *Bachelor of Science Angewandte Informatik*
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thomas Clemen
Zweitgutachter: Prof. Dr. Thomas Lehmann

Eingereicht am: 20. September 2023

Kalvin Döge

Thema der Arbeit

Bestimmung einer 'Grünen Welle' bei Lichtsignalschaltungen für Alster-Fahrradfahrer durch agentenbasierte Simulation mithilfe des MARS-Frameworks

Stichworte

Agentenbasierte Simulation, Alster, MARS, MARS-Framework, Grüne Welle, Ampelschaltung, Fahrradfahrer

Kurzzusammenfassung

Fahrradfahrer haben es in Großstädten noch immer schwer, sich effizient im Straßenverkehr fortzubewegen. Die Straßen sind häufig noch für PKWs und weniger auf Fahrräder ausgelegt, weshalb eine Lösung, neben der Erweiterung von Fahrradwegen, die Reduzierung von Rotphasen bei Lichtsignalschaltungen wäre. . . .

Kalvin Döge

Title of Thesis

Determining a 'Green Wave' for traffic lights for Alster-Cyclists with agent-based simulation using the MARS-Framework

Keywords

Agent based Simulation, Alster, MARS, MARS-Framework, Green Wave, Traffic Lights, Cyclists

Abstract

Cyclists still have a difficult time getting around in traffic in densely populated cities. Streets are mostly adapted to larger vehicles and less so for bikes. A solution for that problem, besides further increasing the amount of bicycle lanes, is reducing the length of red phases at light signals. . . .

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Inhaltlicher Ablauf der Bachelorarbeit	1
1.2 Inhalt der Arbeit	1
2 Methodik	4
2.1 MARS Arbeitsgruppe und MARS Framework	4
2.2 Smart Open Hamburg	4
2.3 Simulationsmodelle	4
2.4 Ein- und Ausgabedaten	5
3 Konzept	6
3.1 Simulationsort	6
3.2 Agenten	6
3.2.1 Voraussetzungen	7
3.2.2 Modalitäten	7
3.2.3 Interaktionen mit Agenten und Entitäten	8
3.2.4 Anzahl aktiver Agenten	8
3.3 Lichtsignalschaltungen	8
3.3.1 Voraussetzungen	8
3.3.2 Modalitäten	9
3.3.3 Interaktionen mit Agenten und Entitäten	9
3.3.4 Anzahl aktiver Agenten	10
4 Implementierung	11
5 Evaluation	12

6 Zusammenfassung	13
Literaturverzeichnis	14
A Anhang	15
Selbstständigkeitserklärung	16

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Inhaltlicher Ablauf der Bachelorarbeit

Diese Arbeit teilt sich, nach dem ersten Kapitel „Einleitung“, in fünf weitere Kapitel auf:

- Dem zweiten Kapitel „Methodik“, welches sich mit Erklärungen zum eigentlichen Vorgehen beschäftigt, mit der die Hypothesen erforscht werden sollen.
- Dem dritten Kapitel „Konzept“, welches die Implementation textuell vorbereitet und das Simulationsmodell, als auch die Ein- und Ausgabedaten beschreibt und erklärt.
- Dem vierten Kapitel „Implementation“, welches sich mit dem Quellcode und dessen besonderen Aspekten widmet, womit das Simulationsmodell erstellt wurde.
- Dem fünften Kapitel „Evaluation“, welches die Ausgabedaten in Bezug zu den Eingabedaten und Modelleinstellungen erklärt und darstellt, als auch den Bezug zu den Forschungsfragen und Hypothesen wieder herstellt.
- Dem sechsten und letzten Kapitel „Zusammenfassung“, in dem die Arbeit noch einmal im Gesamtblick zusammengefasst wird und die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit abschließend genannt werden.

1.2 Inhalt der Arbeit

Zur Bestimmung einer „Grünen Welle“ für Fahrradfahrer um die Binnen- und Außenalter, kommen folgende Fragen zur Simulation des Szenarios auf:

- Wie sieht ein durchschnittlicher Fahrradfahrer, Fußgänger und ein Personenkraftwagen in dem Modell aus?
- Welche Strecke fährt der Fahrradfahrer um die Binnen- und Außenalster und welche Abschnitte davon müssen auf der Straße oder auf dem Fahrradweg gefahren werden?
- Was für Eigenschaften muss die Lichtsignalschaltung in dem Modell haben, damit sie geeignet für eine „Grüne Welle“ sind?
- Wie stark wirkt sich die Auslastung der Straßen auf das Lichtsignalnetz aus,
 - wenn zu verschiedenen Uhrzeiten am Tag die Alsterrundfahrt unternommen wird?
 - wenn die Anzahl an Verkehrsteilnehmern, also Personenkraftwagen, Fußgänger und Fahrradfahrer, erhöht oder gesenkt wird?
- Ist es überhaupt möglich, dass Fahrradfahrer mindestens zwei mal pro Tag eine „Grüne Welle“ durchfahren können, ohne anzuhalten?
- Wie müssen die Lichtsignalzeiten angepasst werden, wenn der Verkehr sich zu stark auf die „Grüne Welle“ ausübt?

Um die Aspekte genauer zu untersuchen, lassen sich aus ihnen forschungsrelevante Hypothesen aufstellen, die im Folgenden genauer definiert werden:

Für einen Fahrradfahrer ist es möglich, mit durchschnittlicher Geschwindigkeit mindestens zweimal pro Wochentag um die Binnen- und Außenalster zu fahren und dabei eine „Grüne Welle“ zu haben. Dadurch, dass in einer durchschnittlichen Arbeitswoche Fahrradfahrer von und zu der Arbeit fahren, sind zwei Fahrten um die Binnen- und Außenalster vorgesehen und zu schaffen, um die größtmögliche Menge an Fahrradfahrern abzudecken.

Die Änderung von Lichtsignalschaltzeiten und der Verkehrsauslastungen wirkt sich auf die Möglichkeit einer für Fahrradfahrer-erreichbaren, „Grünen Welle“ aus. Unter der Annahme, dass Fahrradfahrer neben dem Verkehr mit Personenkraftwagen, anderen Fahrradfahrern oder Fußgängern noch zusätzlich ihre Geschwindigkeit anpassen müssen, wird ein durchschnittlicher Fahrradfahrer ab einer bestimmten Lichtsignalschaltzeit die „Grüne Welle“ nicht mehr ‘komfortabel’ erreichen, ohne entweder immer wieder stark abzubremesen oder aufzuholen.

Die Änderung von wirkt sich auf die Möglichkeit einer für Fahrradfahrer-erreichbaren, „Grünen Welle“ aus. Sobald im Verkehr eine zu große Menge an Personenkraftwagen, Fußgängern oder anderen Fahrradfahrern vorliegt, wird die Wahrscheinlichkeit einer „Grünen Welle“ immer geringer, da diese den Verkehr zu stark aufhalten und damit potenziell Staus verursachen können.

2 Methodik

In diesem Abschnitt wird im Folgenden wesentliche Grundlagen des Simulationsmodells näher ausgeführt, die zum Erforschen der Hypothesen hinzugezogen werden: Die MARS-Arbeitsgruppe und deren MARS-Framework als auch SmartOpenHamburg.

2.1 MARS Arbeitsgruppe und MARS Framework

”
”

2.2 Smart Open Hamburg

2.3 Simulationsmodelle

Um den Verkehr und deren Teilnehmer um die Binnen- und Außenalster so einstellbar wie möglich zu machen, empfehlen sich zwei Arten einer Modellsimulation:

- Eine agentenbasierte Simulation
- Eine ereignisgesteuerte Simulation

Agentenbasierte Simulation In dieser Simulationsart werden Akteure in eine Umwelt gebracht, die in Echtzeit sowohl mit sich gegenseitig, als auch mit der Umgebung interagieren und sie somit beeinflussen können. Wesentlich ist dabei auch, dass die Akteure selbst Entscheidungen treffen können und ein eigenes Verhalten aufweisen. In einer Simulation mit Lichtsignalschaltungen und die Bestimmung einer optimalen „Grünen Welle“ könnten die Akteure z. B. die Fußgänger, die Fahrradfahrer und die Personenkraftwagen darstellen, während die Umwelt das Straßennetz mit den Lichtsignalen wäre. Personenkraftwagen könnten gleichzeitig mit Fahrradfahrern interagieren, indem sie z. B. Plätze

vor Ampeln wegnehmen oder Staus verursachen, während Fußgänger z. B. die Ampeln betätigen und damit Fahrradfahrern die „Grüne Welle“ verhindern könnten.

Ereignisgesteuerte Simulation Neben dem agentenbasierten Modell, gibt es ebenso auch die Möglichkeit einer ereignisgesteuerten Simulation. Diese Art der Simulation ist nicht in Echtzeit, hat aber wiederum im allgemeinen Ereignisse, die nacheinander passieren und abgegangen werden. Auf dem Weg von einem Ereignis zu einem anderen können äußere Einflüsse den Übergang zum nächsten Ereignis verändern. Dadurch, dass aber der Wechsel von einem Ereignis zum anderen im Vornherein bei der Implementierung bekannt ist, kann man die Übergänge der Ereignisse z. B. mit Zeit bereits errechnen.

Für diese Arbeit empfiehlt sich eine agentenbasierte Simulation, da im Vornherein die zu fahrende Route eines Fahrradfahrers zwar bekannt ist, die Einflüsse von z. B. Personenkraftwagen aber direkt im Übergang von einer Lichtsignalschaltung zur anderen den Akteur beeinflussen und so nicht ‘vorhergesehen’ werden können. Damit also keine voreiligen Annahmen über dynamische Einflüsse von anderen Akteuren und der Umwelt im Quellcode festgelegt werden, ist entsprechend eine agentenbasierte Echtzeitsimulation angemessener.

2.4 Ein- und Ausgabedaten

3 Konzept

Im Folgenden wird das Model der Simulation konzeptioniert und ausgeführt, mit den vorherigen Begriffserklärungen als Grundlage. Dabei wird auf den Simulationsort im Modell eingegangen, der Aufbau und Voreinstellungen der Agenten und Lichtsignalschaltungen, die Ermittlung der und zuletzt wird noch die Arbeit auf ihren Umfang abgegrenzt.

3.1 Simulationsort

Für die Arbeit wurde die Binnen- und Außenalster als Simulationsumgebung ausgewählt. (Bild mit Simulationsbereich anhängen). Wie im Ausschnitt [Bildname] sich ableiten lässt, ist aufgrund der zentralen Lage innerhalb der Stadt, vieler anliegenden Kreuzungen und generell dichten Besiedelung um die Alster herum eine hohe Dichte an Agenten für die Simulation gegeben, die eine „Grüne Welle“ für Fahrradfahrer erschweren können. Dies gibt der Simulation auf der einen Seite eine Herausforderung, mit schwereren Vorgaben überhaupt eine Lichtsignalschaltung für die „Grüne Welle“ zu finden, während auf der anderen Seite dafür aber diese Simulation wie eine „Obergrenze“ angesehen werden kann für die Agenten- und Lichtsignalanzahlen.

3.2 Agenten

Im Folgenden werden die Konzepte der Agenten näher erläutert, wobei besonders auf die Grundlagen der Agenten, ihre Modalitäten, die Interaktion mit anderen Agenten und Entitäten, die Anzahl an aktiven Agenten und auf die gefahrene Routen eingegangen wird.

3.2.1 Voraussetzungen

Es gibt zwei Arten von Agenten, die in der Simulation agieren: Den Nebenagenten, fortan „HumanTraveler“ genannt, und dem Hauptagenten, fortan „BicycleLeader“ genannt.

Der BicycleLeader ist der Fokus dieser Arbeit. Dieser wird immer mit einem eigenen Fahrrad oder einem mietbaren Fahrrad ausgestattet, mit dem er vorgegebene Punkte auf einer Route um die Alster abfahren soll. Sein Ziel ist es, eine Runde um die Alster zu fahren, ohne dabei auf 0 km/h bremsen zu müssen. Langsames Fahren ist hier nicht mit einbezogen als Fehlschlagbedingung, da eine Schwelle für „zu langsames“ Fahren, so dass der BicycleLeader sein Gleichgewicht nicht mehr halten könne, von einer Reihe von Faktoren abhängt, die außerhalb des Rahmens dieser Arbeit wären: das Alter des BicycleLeaders, die Erfahrung mit dem Fahrrad, das angestrebte Fahrverhalten, Höhenprofile der Umgebung, Wetterbedingungen und noch einige Aspekte mehr.

HumanTraveler sind dabei die Einwohner, die mit Lichtsignalschaltungen interagieren und auf den Straßen dem BicycleLeader in die Quere kommen. Das Ziel der HumanTraveler ist es lediglich, ein zufällig zugewiesenes Ziel um die Alster herum zu erreichen, bevor sie aus der Simulation entfernt werden.

3.2.2 Modalitäten

Die HumanTraveler haben drei Arten der Transportation zur Verfügung: zu Fuß, PKWs und Fahrräder. In dem MARS-Framework ist es Agenten ebenso gestattet, bei Autos und Fahrrädern diese zu Mieten und damit sogenannte „RentalCars“ oder „RentalBikes“ zu nutzen, jedoch hat es für diese Arbeit keinen großen Einfluss, ob sie ihren eigenen Transportmittel nehmen oder einen Umweg zu den mietbaren Äquivalenten einschlagen, da die Agenten in der Simulation nur als „Störfaktor“ über Ampeln und auf Straßen mit dem Hauptagenten interagieren.

Für jede Modalität gibt es eine vorgesehene Straße zum Befahren: PKWs fahren auf Straßen, Fahrräder fahren auf Fahrradlinien und teilweise auch auf Straßen. Fußgänger können nur auf Fußgängerwegen sich bewegen, dafür können sie in andere Modalitäten wechseln. Jeder HumanTraveler als auch der BicycleLeader beginnt die Simulation als Fußgänger, bevor sie auf eine Modalität aufsteigen.

3.2.3 Interaktionen mit Agenten und Entitäten

Interaktionen zwischen Agenten sind in dieser Simulation beschränkt auf zwei Arten: dem Verlangsamen und Blockieren auf Straßen als auch dem Aufhalten von anderen Agenten an Lichtsignalschaltungen. HumanTraveler und BicycleLeader können über ihre PKWs und Fahrräder an Ampeln einen Platz einnehmen und damit die Warteschlangen verlängern. Je länger sie wird, desto mehr Zeit benötigt die Simulation, um die Warteschlange bei einem grünen Signal zu leeren.

Auf den Straßen und Fahrradwegen selbst haben die jeweiligen Modalitäten nur dann miteinander Interaktionen, wenn sie sich zu Nahe kommen. Damit es nicht zu Kollisionen kommt, wird überprüft, wie nahe sich zwei Agenten sind, um dann zu verlangsamen oder weiterzufahren. Eine detailliertere Abhandlung dazu wird im Kapitel „Implementierung“ angegangen.

3.2.4 Anzahl aktiver Agenten

Das Simulationsmodell nimmt eine[1]

3.3 Lichtsignalschaltungen

I

3.3.1 Voraussetzungen

Es gibt zwei Arten von Agenten, die in der Simulation agieren: Den Nebenagenten, fortan „HumanTraveler“ genannt, und dem Hauptagenten, fortan „BicycleLeader“ genannt.

Der BicycleLeader ist der Fokus dieser Arbeit. Dieser wird immer mit einem eigenen Fahrrad oder einem mietbaren Fahrrad ausgestattet, mit dem er vorgegebene Punkte auf einer Route um die Alster abfahren soll. Sein Ziel ist es, eine Runde um die Alster zu fahren, ohne dabei auf 0 km/h bremsen zu müssen. Langsames Fahren ist hier nicht mit einbezogen als Fehlschlagbedingung, da eine Schwelle für „zu langsames“ Fahren, so dass der BicycleLeader sein Gleichgewicht nicht mehr halten könne, von einer Reihe von

Faktoren abhängt, die außerhalb des Rahmens dieser Arbeit wären: das Alter des BicycleLeaders, die Erfahrung mit dem Fahrrad, das angestrebte Fahrverhalten, Höhenprofile der Umgebung, Wetterbedingungen und noch einige Aspekte mehr.

HumanTraveler sind dabei die Einwohner, die mit Lichtsignalschaltungen interagieren und auf den Straßen dem BicycleLeader in die Quere kommen. Das Ziel der HumanTraveler ist es lediglich, ein zufällig zugewiesenes Ziel um die Alster herum zu erreichen, bevor sie aus der Simulation entfernt werden.

3.3.2 Modalitäten

Die HumanTraveler haben drei Arten der Transportation zur Verfügung: zu Fuß, PKWs und Fahrräder. In dem MARS-Framework ist es Agenten ebenso gestattet, bei Autos und Fahrrädern diese zu Mieten und damit sogenannte „RentalCars“ oder „RentalBikes“ zu nutzen, jedoch hat es für diese Arbeit keinen großen Einfluss, ob sie ihren eigenen Transportmittel nehmen oder einen Umweg zu den mietbaren Äquivalenten einschlagen, da die Agenten in der Simulation nur als „Störfaktor“ über Ampeln und auf Straßen mit dem Hauptagenten interagieren.

Für jede Modalität gibt es eine vorgesehene Straße zum Befahren: PKWs fahren auf Straßen, Fahrräder fahren auf Fahrradlinien und teilweise auch auf Straßen. Fußgänger können nur auf Fußgängerwegen sich bewegen, dafür können sie in andere Modalitäten wechseln. Jeder HumanTraveler als auch der BicycleLeader beginnt die Simulation als Fußgänger, bevor sie auf eine Modalität aufsteigen.

3.3.3 Interaktionen mit Agenten und Entitäten

Interaktionen zwischen Agenten sind in dieser Simulation beschränkt auf zwei Arten: dem Verlangsamen und Blockieren auf Straßen als auch dem Aufhalten von anderen Agenten an Lichtsignalschaltungen. HumanTraveler und BicycleLeader können über ihre PKWs und Fahrräder an Ampeln einen Platz einnehmen und damit die Warteschlangen verlängern. Je länger sie wird, desto mehr Zeit benötigt die Simulation, um die Warteschlange bei einem grünen Signal zu leeren.

Auf den Straßen und Fahrradwegen selbst haben die jeweiligen Modalitäten nur dann miteinander Interaktionen, wenn sie sich zu Nahe kommen. Damit es nicht zu Kollisionen

kommt, wird überprüft, wie nahe sich zwei Agenten sind, um dann zu verlangsamen oder weiterzufahren. Eine detailliertere Abhandlung dazu wird im Kapitel „Implementierung“ angegangen.

3.3.4 Anzahl aktiver Agenten

Das Simulationsmodell nimmt eine[1]

4 Implementierung

5 Evaluation

6 Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

- [1] FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, BEHÖRDE FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR UND INNOVATION: AMT FÜR VERKEHR- UND STRASSENWESEN: *Vorabinformation zur beabsichtigten Direktvergabe eines öffentlichen Dienstleistungsauftrags der Freien und Hansestadt Hamburg an die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH)*. 2015. – URL <https://web.archive.org/web/20230914001603/https://www.hamburg.de/contentblob/4648186/c282512c81cefae55d8cac95cb62569a/data/vhh-direktvergabe-ergaenzendes-dokument.pdf>. – Zugriffsdatum: 2023-09-14

A Anhang

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort

Datum

Unterschrift im Original