

STUDIENGANG DATENANALYSE UND PROZESSDESIGN
ZÜRCHER HOCHSCHULE WINTERTHUR (ZHW)

ANALYSE UND BEWERTUNG VON ZWEI SOFTWARE-TOOLS ZUR MODELLIERUNG UND SIMULATION VON FUSSGÄNGERSTRÖMEN

Projektarbeit

von

Thomas Engler

Winterthur, 7. Juli 2006

Ausgeführt unter der Leitung von

Jürg Hosang

Prof., Dr. phil. II, Geograph/Geoökologe
Institut für Datenanalyse und Prozessdesign
Zürcher Hochschule Winterthur

Albert Steiner

El.-Ing. HTL

Institut für Datenanalyse und Prozessdesign
Zürcher Hochschule Winterthur

Mit dem Wirtschaftspartner

Alex Schmid

Savannah Simulations AG
Alte Dorfstrasse 24
8704 Herrliberg

Abstract

Die Firma Savannah Simulations AG stellte die beiden Programme SimWalk und ShopSim zur Verfügung. Beides sind agentenbasierte Fussgängersimulationstools. Ziel der Projektarbeit war es die beiden Programme zu analysieren und Verbesserungsvorschläge zu machen. Für SimWalk zeigte die Analyse, dass es wichtig ist, dem Zufall eine grössere Bedeutung zukommen zu lassen. So sollte die deterministische Wartezeit (z.B. Kauf eines Billets an einem Automaten) und die gleichverteilten Wunschgeschwindigkeiten sowie die Startzeiten der Agenten durch geeignetere Verteilungsannahmen ersetzt werden. Es empfehlen sich Annahmen der Normalverteilung oder der Exponentialverteilung. Weiter wird als wichtig erachtet, dass ein Seed festgelegt werden kann um Sensitivitätsanalysen durchzuführen. Für statistische Auswertungen ist es wichtig, die Position und die Geschwindigkeit von jedem Agenten zu jedem Zeitpunkt zu kennen. Zur Zeit kann in SimWalk nicht auf diese Grössen zugegriffen werden.

Für ShopSim wird vorgeschlagen, dass die Aufenthaltszeit in einem Geschäft durch eine normal- oder exponentialverteilte Zufallszahl bestimmt wird und zusätzlich eine Kasse mittels einer Warteschlange modelliert wird. Bewegen sich Agenten in einem Kaufhaus, tun sie das auf einem Netz von Knoten mit einer zufälligen Abweichung zu diesen Referenzpunkten. Dadurch können mehrere Agenten zur selben Zeit am selben Ort sein. Das verunmöglicht realistische Evakuationsimulationen. Deshalb wird von dieser Art der Bewegung abgeraten und vorgeschlagen die Bewegung jener von SimWalk anzupassen.

Für beide Programme wurden noch weitere Verbesserungsvorschläge gemacht, die das Programm benutzerfreundlicher machen sollen.

Diese Arbeit soll neben der Analyse der Programme für die Savannah Simulations AG noch eine weitere Rolle haben. Sie hilft dem Autor, die Diplomarbeit vorzubereiten, welche zusammen mit der RailCity AG durchgeführt wird. Ziel ist ein Bahnhofsgebäude im Bahnhof Winterthur mit SimWalk zu simulieren. Durch diese Arbeit konnte sich der Autor das Wissen über agentenbasierte Modellierung und Simulation sowie über SimWalk aneignen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Agentenbasierte Modellierung und Simulation	3
3	Attribute von Agenten	4
4	Fussgängerverhalten auf drei Levels	6
4.1	Strategisches Verhalten	6
4.2	Taktisches Verhalten	6
4.3	Operatives Verhalten	7
4.4	Übersicht der drei Levels	7
5	Die Agenteneigenschaften auf den drei Levels	8
5.1	Strategisches Verhalten	8
5.2	Taktisches Verhalten	9
5.3	Operatives Verhalten	10
6	SimWalk	12
6.1	Überblick	12
6.2	Das Potentialfeld	12
6.3	Strategisches Verhalten in SimWalk	12
6.4	Taktisches Verhalten in SimWalk	13
6.5	Operatives Verhalten in SimWalk	14
6.6	Parameter in Simwalk	15
6.7	Das “Soziale Kräfte Modell” (SKM)	16
6.8	Die Bewegung der Agenten in SimWalk	18
6.9	Vorschläge zur Programmentwicklung	23
7	ShopSim	26
7.1	Überblick	26
7.2	Strategisches Verhalten in ShopSim	26
7.3	Taktisches Verhalten in ShopSim	27
7.4	Operatives Verhalten in ShopSim	28
7.5	Parameter in ShopSim	29
7.6	Vorschläge zur Programmentwicklung	31
8	Vergleich zwischen SimWalk und ShopSim	33
8.1	Allgemeines	33
8.2	Strategisches Verhalten	33
8.3	Taktisches Verhalten	33
8.4	Operatives Verhalten	33
9	Zusammenfassung und Ausblick	34

1 Einleitung

Die Firma Savannah Simulations AG bietet im Bereich der Agentenbasierten Modellierung und Simulation Softwareprodukte an. Zum einen ist das die Software SimWalk um Fussgängerströme zu simulieren und zum anderen ShopSim um das Kaufverhalten in Einkaufszentren zu simulieren. Savannah Simulations AG entwickelt die beiden Programme laufend weiter. Ziele dieser Arbeit sind:

- Der Ist-Zustand der beiden Softwareprodukte SimWalk und ShopSim soll analysiert werden und ein Beitrag zur Weiterentwicklung dieser beiden Programme geleistet werden, indem Entwicklungsvorschläge gemacht werden. SimWalk und ShopSim werden in den Kapiteln 6 bzw. Kapitel 7 behandelt.
- Grundlagen der Agentenbasierten Modellierung und Simulation im Bereich der Fussgängersimulation sollen erarbeitet werden. Diese Grundlagen sind in Kapitel 2 beschrieben. In Kapitel 3 sind die Eigenschaften der Agenten, mit entsprechenden Beispielen, beschrieben. Fussgänger und somit auch Agenten haben Entscheidungen zu treffen. Die Entscheidungen können in drei Gruppen unterteilt werden, welche in Kapitel 4 erklärt sind.
- Für beide Programme wird untersucht, wie die drei Entscheidungsebenen implementiert wurden und welche Parameter, welchen Einfluss auf die Simulation haben.
- In Kapitel 8 werden die beiden Programme kurz miteinander verglichen.
- Auf die Bewegung der Agenten in SimWalk wird in Kapitel 6.8 eingegangen. Die Bewegung der Agenten in SimWalk wird dabei mit dem Sozialen Kräfte Modell nach Helbing and Molnár (1995) und Molnár (1995) verglichen.
- Im Rahmen der Diplomarbeit des Autors zusammen mit der RailCity AG, wird das Stadttor beim Hauptbahnhof Winterthur mit SimWalk simuliert werden. Die vorliegende Arbeit dient auch zur Einarbeitung in SimWalk.

Ziel dieser Arbeit ist es also Vorschläge zur Weiterentwicklung von SimWalk und ShopSim zu machen, Grundlagen in der Fussgängersimulation zu erarbeiten und Vorarbeit für die Diplomarbeit zu leisten.

2 Agentenbasierte Modellierung und Simulation

Es gibt zahlreiche Definitionen, wie Agenten beschrieben werden können. Gemäss Urban (2004) zitiert nach Müller (1996) werden den Agenten drei Grundfunktionen zugeordnet.

- **Wahrnehmung der Umwelt:** Agenten sind sehr häufig in komplexe, dynamische Umgebungen eingebettet, die Randbedingungen für ihr Verhalten vorgeben. Um adäquat handeln zu können, verfügen Agenten über die Möglichkeit, ihre Umwelt wahrzunehmen. Sie nehmen Sinneseindrücke und Reize aus ihrer Umgebung auf und führen diese einer internen Weiterverarbeitung zu.
- **Interne Verarbeitung der wahrgenommenen Informationen:** Aufgrund der wahrgenommenen Umweltinformationen legen Agenten intern ihr Verhalten fest, wobei mehr oder weniger komplexe Steuerungsmechanismen zum Einsatz kommen. Bei einfach strukturierten Agenten erfolgt die Verhaltenssteuerung auf der Grundlage vorgegebener Regeln, die bestimmen, in welcher Weise sich ein Agent in einer gegebenen Situation zu verhalten hat. Komplexere Agenten können zudem auf kognitive Fähigkeiten zurückgreifen, die es ihnen beispielsweise erlauben, Entscheidungen zu treffen, Handlungspläne zu entwerfen oder Probleme zu lösen.
- **Ausführung von Aktionen:** Agenten können im Allgemeinen ihre Umwelt nicht nur wahrnehmen, sondern sie verfügen auch über Möglichkeiten, modifizierend auf sie einzuwirken. Dies geschieht mit Hilfe von extern wirksamen Aktionen, die als Ergebnis interner Verhaltenssteuerungsmechanismen ausgelöst werden.

Agenten, auch Softwareagenten genannt, sind mit gewissen Eigenschaften (siehe Kapitel 3) ausgestattet, die es ihnen erlauben die Umwelt wahrzunehmen, Informationen zu verarbeiten, Entscheide zu treffen und schliesslich Aktionen auszuführen. Jeder Agent verfügt über einen eigenen internen Zustand, in dem alle konstanten und variablen Attribute des Agenten gespeichert werden.

Viele Einsatzgebiete sind für Agenten denkbar. In der vorliegenden Arbeit wird nur ein ganz spezieller Agententyp untersucht: der Fussgänger. Werden Fussgänger simuliert, bietet es sich an sie als Agenten zu betrachten. Fussgänger müssen ihre Umwelt wahrnehmen, damit sie zu einem Ziel kommen können. Sie müssen diese Eindrücke verarbeiten um Entscheide treffen zu können. Durch die getroffenen Entscheide können entsprechende Aktionen ausgeführt werden. Zum Beispiel wohin der nächste Schritt gehen soll und mit welcher Geschwindigkeit der Agent diesen Schritt ausführen will.

Der Agent ist also eine vereinfachte Abbildung eines Fussgängers. Sein interner Zustand besteht beispielsweise aus den Eigenschaften Geschlecht, Alter, Wunschgeschwindigkeit, usw. Der aktuelle Standort und die aktuelle Geschwindigkeit sind ebenfalls im internen Zustand gespeichert.

In der agentenbasierten Modellierung von Fussgängern werden bauliche Strukturen abgebildet, Agenten mit bestimmten Eigenschaften und Fähigkeiten erzeugt und Entscheidungsregeln festgelegt. Während der Simulation bewegen sich die Agenten im System. Dabei treffen sie Entscheidungen um ihre Ziele zu erreichen. Ein vernünftiges Ziel wäre im System von einem Punkt A zu einem Punkt B zu gelangen - dies mit möglichst kleinem Aufwand. Das Ziel der agentenbasierten Modellierung und Simulation kann es sein Engpässe im System aufzuzeigen oder Evakuationen zu simulieren um damit die Sicherheit von Gebäuden nachzuweisen.

3 Attribute von Agenten

Agenten haben gewisse charakteristische Eigenschaften (Attribute). Die Liste dieser Eigenschaften ist von Literatur zu Literatur verschieden ¹. Je nach Anwendungsgebiet der Agenten sind andere Attribute gefragt. In dieser Arbeit geht es um einen ganz speziellen Agententypen: den Fussgänger. Bei der Auswahl der Attribute wurde dieser Tatsache Rechnung getragen.

Der Bereich, in welchem sich diese Eigenschaften bewegen können und weitere Beispiele zu den Attributen, werden im Kapitel 4 aufgezeigt.

- **Autonomie**

Agenten steuern sich selbst. Sie haben die Kontrolle über ihre Aktionen und ihren internen Zustand. Die Autonomie eines Agenten hat Grenzen, die durch seinen spezifischen internen Zustand bestimmt werden. Durch die äusseren Zustände wird der interne Zustand des Agenten beeinflusst und die Autonomie des Agenten weiter begrenzt.

Ein Agent kann zum Beispiel in der Wahl seiner Geschwindigkeit autonom sein. Das heisst, er bestimmt, wie schnell er sich bewegen möchte. Durch seinen internen Zustand wird eine Höchstgeschwindigkeit festgelegt. Ein Agent, der einen älteren Menschen repräsentiert, wird eine geringere Höchstgeschwindigkeit haben, als ein junger Agent. Selbst wenn ein junger Agent schnell unterwegs sein möchte, kann eine grosse Agentenmenge ihn zwingen seine Geschwindigkeit anzupassen.

- **Soziale Fähigkeit**

Agenten stehen mit anderen Agenten über eine Art Agentensprache in Beziehung. Die Agenten sind dadurch fähig mit anderen Agenten zu kommunizieren und zu kooperieren.

Agenten, die miteinander kommunizieren, können sich darauf einigen ihre Arbeit zu teilen. Die Agenten tauschen Informationen aus um herauszufinden, was der Andere für Eigenschaften hat. Sind die Agenten bereit zur Kooperation, wird jeder das machen, was er am besten kann um dadurch ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Das Ziel könnte zum Beispiel Nahrungsbeschaffung sein.

- **Reaktivität**

Agenten nehmen ihre Umwelt wahr und reagieren auf diese.

Agenten, die ihre Umwelt wahr nehmen, werden Wände als solche erkennen und ihren Weg um die Wände herum planen.

- **Proaktivität**

Agenten reagieren nicht nur auf ihre Umwelt, sondern sind auch zu zielgerichtetem Verhalten fähig, indem sie die Initiative ergreifen.

Ein Agent kann vorausplanen. Ein Agent der mit einem Zug fahren möchte und den Fahrplan kennt, kann seinen Startzeitpunkt so wählen, dass er pünktlich am Bahnhof ankommt.

- **Mobilität**

Agenten können ihren Aufenthaltsort wechseln.

- **Rationalität**

Agenten sind fähig logische Schlussfolgerungen zu ziehen, die helfen ihre Ziele zu erreichen. Hat ein Agent Hunger, wird er logisch folgern, dass er etwas zu essen

¹Die Attribute wurden aus Jennings (1995) übernommen. Sie sind im Wortlaut aber zum Teil angepasst und durch Beispiele ergänzt.

braucht und nicht Sport treiben sollte, was seine Energiereserven zusätzlich belasten würde.

- **Intelligentes Verhalten**

Agenten werden oft als intelligent bezeichnet, wenn sie gewisse Lernfähigkeiten oder Anpassungsfähigkeiten auf Umweltveränderung zeigen.

Hat ein Agent den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten bestimmt, wird dieser in seinem internen Zustand abgespeichert, damit er beim nächsten Mal diesen Weg gehen kann, ohne nochmals herausfinden zu müssen, welcher der kürzeste ist.

4 Fussgängerverhalten auf drei Levels

Einleitend soll gezeigt werden, dass ein Agent dauernd unterschiedliche Entscheidungen auf verschiedenen Levels zu treffen hat. In den nächsten Kapiteln wird das folgende einfache Beispiel zur Illustration verwendet.

Ein Agent hat das Bedürfnis sich ein Hemd zu kaufen, hat aber kein Geld mehr bei sich. Der Agent entscheidet sich also bei der Bank Geld abzuheben und ein Hemd zu kaufen um dieses Bedürfnis zu stillen. Zeigt der Agent rationales Verhalten, wird er sich entscheiden zuerst zur Bank und anschliessend ins Kleidergeschäft zu gehen. Hat sich der Agent für eine Route entschieden, macht er sich auf den Weg. Auf dem Weg zur Bank stösst er auf einen anderen Agenten. Er entscheidet sich einem Zusammenstoss aus dem Weg zu gehen und weicht dem Entgegenkommenden nach links aus.

Ein Agent hat stets Entscheidungen zu treffen, die immer wieder geprüft und eventuell angepasst werden müssen. Die Entscheidungsarten, welche das Verhalten eines Fussgängers bestimmen, lassen sich auf drei Levels (vgl. Daamen (2004)) beschreiben.

1. **strategische Entscheide**
2. **taktische Entscheide**
3. **operative Entscheide**

Bei Fussgängern können strategische Entscheide für einen Zeitraum von wenigen Stunden gemacht werden. Taktische Entscheide bewegen sich in einem ähnlichen Zeitrahmen, während operative Entscheide oft unmittelbar nach dem Fällen des Entscheides eine Reaktion hervorrufen.

4.1 Strategisches Verhalten

Auf dem strategischen Level werden die Aktivitäten festgelegt. Zum Beispiel: Kauf eines Hemdes, Bank aufsuchen, Wahl des Transportmittels usw. Wichtig ist hierbei, dass es keine Rolle spielt, ob diese geplanten Aktivitäten schliesslich auch ausgeführt werden oder nicht. Der Agent besitzt eine Liste von Zielen, die seine Bedürfnisse reflektieren und durch das Ausführen der Aktivitäten befriedigt werden sollen.

4.2 Taktisches Verhalten

Das taktische Verhalten umfasst drei Teile, die auch parallel ablaufen können. Das Beispiel am Schluss von Kapitel 4.2 soll dies illustrieren.

1. **Planung der Aktivitäten:** Die Reihenfolge wird festgelegt und eventuell werden Aktivitäten weggelassen, wenn der Aufwand zu gross ist, die Motivation zu klein ist, usw.
Der Agent wird sich zuerst zu einer Bank begeben um Geld abzuheben und anschliessend ein Kleidergeschäft aufsuchen.
2. **Wahl der Zielorte:** Hat der Agent mehrere Möglichkeiten eine Aktivität auszuführen, wird hier eine der Möglichkeiten gewählt.
So muss sich der Agent im obigen Beispiel auch entscheiden, ob er ein teures Markenhemd in einer Boutique oder eher ein günstiges Hemd von der Stange kaufen will. Bei der Wahl der Bank wird er sich wahrscheinlich für jene Bank entscheiden, welche dem Kleidergeschäft am nächsten ist.

3. **Wahl der Route:** Die einzelnen Ziele werden durch Wege verbunden, so dass eine Route entsteht.

In einem Kaufhaus gibt es bestimmt verschiedene Wege um vom aktuellen Standpunkt zur Bank und anschliessend zum Kleidergeschäft zu gelangen. Der Agent muss sich für einen Weg entscheiden.

Die drei Punkte werden zum Teil parallel ausgeführt. Der Agent, der beschliesst zuerst Geld abzuheben und anschliessend ein Kleidergeschäft aufzusuchen, kann sich gleichzeitig für eine bestimmte Bank und ein bestimmtes Kleidergeschäft entschliessen. Die Wahl der Aktivität wird gleichzeitig mit der Wahl des Zielortes getroffen. Bei der Wahl der Zielorte kann der Agent die Wahl der Route beachten, indem er die Zielorte auswählt, welche am nächsten beieinander liegen.

Alle Entscheidungen werden aufgrund von Charakteristiken des Agenten, der Erfahrung, des Ziels und der Route getroffen.

4.3 Operatives Verhalten

Operatives Verhalten heisst Aktionen ausführen. Der Agent bewegt sich, der Agent wartet, eine Aktivität wird erledigt, Interaktionen finden statt.

Wie im obigen Beispiel erwähnt, weicht der Agent dem Entgegenkommenden nach links aus. Danach wählt er in der Bank z.B. den Bankomaten mit der kürzesten Warteschlange aus.

4.4 Übersicht der drei Levels

In Abbildung 1 sind die 3 Levels in einer Übersicht dargestellt. Das Treffen von Entscheiden und der Lerneffekt sind dabei die Schnittstellen zwischen den einzelnen Levels.

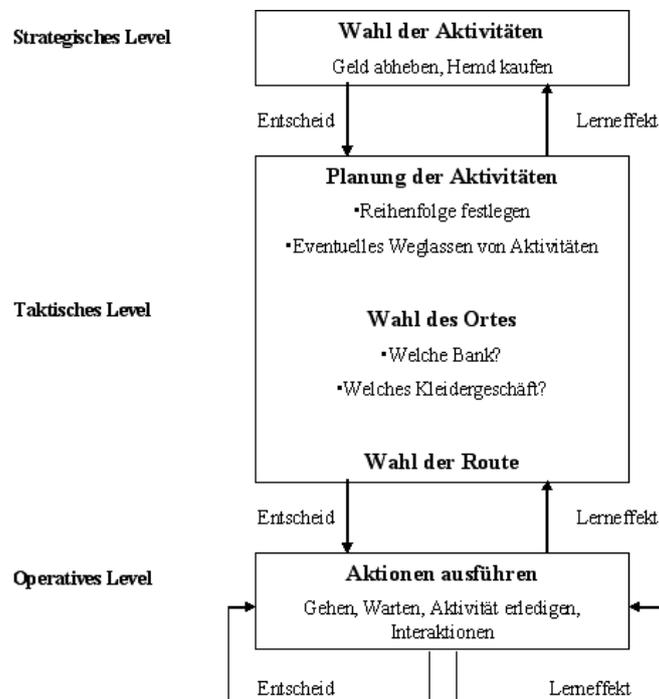


Abbildung 1: Übersicht der 3 Levels: strategisch, taktisch, operativ. Die Grafik wurde von Daamen (2004) übernommen und leicht angepasst.

5 Die Agenteneigenschaften auf den drei Levels

Nicht jede Agenteneigenschaft ist auf jedem Level gleich wichtig. Manche Eigenschaften sind unerlässlich, manche sind "nice to have", andere wiederum sind unwichtig. Im folgenden Abschnitt soll aufgezeigt werden, auf welchem Level welche Eigenschaft wichtig ist. Die Spannbreite in welchem sich die Ausprägung der Eigenschaft bewegen kann, wird ebenfalls aufgezeigt. Diese Punkte werden anhand des Agenten, der ein Hemd kaufen will, aber kein Geld in der Tasche hat, illustriert.

Agentenattribut	strategisch	taktisch	operativ
Autonomie	+	+	+
soziale Fähigkeit	-	-	+
Reaktivität	-	+	+
Proaktivität	+	+	-
Mobilität	+	+	+
Rationalität	+	+	+
intelligentes Verhalten	+	+	+

Tabelle 1: Die Wichtigkeit der Agenteneigenschaften wird für die drei Levels mit (+) für wichtig und (-) für unwichtig gekennzeichnet.

5.1 Strategisches Verhalten

- Auf dem strategischen Level ist die Agenteneigenschaft **Autonomie** von Bedeutung. Der Agent kann seine Ziele, aufgrund seines internen Zustands (Bedürfnisse) selber bestimmen. Der Agent, der ein Hemd benötigt, könnte sich dieses auch selber schneiden. Als Ziel könnte er dann *Stoff kaufen* haben. Hat der Agent die Fähigkeit *Schneidern* sollte er autonom entscheiden können, ob er nun ein Hemd kaufen oder es selber herstellen will. Fehlt ihm diese Eigenschaft, wird er sein Bedürfnis nur stillen können, wenn ein Kleidergeschäft existiert, welches Hemden verkauft. Hat es auch noch so viele Stoffgeschäfte, wird er sich nicht das Schneidern beibringen können. Dem Agenten sind gewisse Grenzen aufgezwungen, die ihn in seiner Autonomie einschränken.
- **Proaktivität** ist für strategische Entscheidungen wichtig. Jeder Agent kennt seine Bedürfnisse und es ist das Ziel eines jeden Agenten diese Bedürfnisse zu stillen. Der Agent ergreift die Initiative indem er versucht durch eine geeignete Wahl von Aktivitäten seine Bedürfnisse zu stillen. Proaktivität hat mit vorausplanen zu tun. Ist das Bedürfnis *Hemd kaufen* vorhanden, wird der Agent die Initiative ergreifen und herausfinden, wie er zu einem Hemd kommt. Hier kann ihm seine Erfahrung weiterhelfen, indem er zum Beispiel weiss, dass es Geld braucht um ein Hemd zu kaufen. Je mehr Erfahrung der Agent hat, desto proaktiver kann er sein. Selbstverständlich können auch Agenten modelliert werden, welchen diese Eigenschaft fehlt. Sie würden sich dann so verhalten, als wären sie ohne Erfahrung. Die Agenten würden losgehen ohne eine bestimmte Aktivität ausführen zu wollen. Vielleicht würde zufällig ein Kleidergeschäft aufgesucht und ein Hemd gekauft. Das Bedürfnis wäre ohne vorausplanen befriedigt worden.
- **Mobilität** ist für einen Fussgänger per Definition wichtig. Auf dem strategischen Level wäre die Aktivitätenwahl sehr eingeschränkt, wenn den Agenten diese Eigenschaft fehlen würde. Für strategische Entscheide reicht es aber aus, wenn der Agent weiss,

dass er seinen Standort wechseln kann. Dadurch können die Aktivitäten *Kleiderladen und Bank aufsuchen* in die Liste der zu erledigenden Aktivitäten aufgenommen werden.

- Bei strategischen Entscheiden ist **Rationalität** sehr eng mit Proaktivität verwandt. Handelt ein Agent rational, wird er nur jene Aktivitäten auswählen, welche ihn seinem Ziel näher bringen. Will der Agent ein Hemd kaufen, wird er auf seine Liste mit Aktivitäten nicht noch *Fitnesscenter besuchen, Stadtrundfahrt* usw. aufnehmen.
- Werden die Erfahrungen aus der Vergangenheit in die strategischen Entscheidungen miteinbezogen, zeigt der Agent **intelligentes Verhalten**. Je grösser seine Intelligenz ist, desto proaktiver und rationaler kann ein Agent handeln. Wenn der Agent immer wieder vergisst, wo er Geld her bekommt, wird er es schwer haben, sein Hauptbedürfnis *Hemd kaufen* zu stillen. Wenn er weiss, dass er auf einer Bank Geld bekommt, wird er ein Hemd kaufen können. Wenn er sich sogar noch merken konnte, wo sich die Bank befindet, wird er ein noch genaueres Ziel in seine Liste aufnehmen können.

5.2 Taktisches Verhalten

- **Autonomes Handeln** ist auf dem taktischen Level wichtig, falls der Agent die Aktivitäten selber plant, die Ziele auswählt und die Route bestimmt. Werden nicht alle Punkte vom Agenten selber übernommen, kann von eingeschränkter oder fehlender Autonomie bei taktischen Entscheidungen gesprochen werden. Der Agent handelt vollständig autonom, wenn er selber entscheidet, auf welchem Weg er zuerst in eine Bank und anschliessend in ein Kleidergeschäft seiner Wahl geht.
- **Reaktives Verhalten** wird von den Agenten benötigt, wenn die ursprünglich geplante Route nicht zum Ziel führt, weil sich in der Zwischenzeit Veränderungen der Umgebung ergeben haben. Der Agent kommt zur Bank, welche er geplant hat zu besuchen und merkt, dass diese nicht geöffnet hat. Somit kann er die Aktivität *Geld abheben* bei dieser Bank nicht erledigen. Was kann der Agent nun machen? Hat die Fähigkeit Reaktivität keine Ausprägung, wird er wahrscheinlich einfach stehenbleiben und warten, ohne zu wissen warum. Ist die Eigenschaft Reaktivität stark ausgeprägt, wird sich der Agent überlegen, wie wichtig ihm diese Aktivität ist. Wird sie als wichtig eingestuft, wird er sich einen neuen Zielort, also eine neue Bank suchen und die Route neu planen.

Angenommen der Agent hat sein Geld bekommen und ist auf dem Weg ins Kleidergeschäft, als er vor sich eine grosse Menschenmenge wahrnimmt. Wenn er alleine durch die Wahrnehmung der Menschenmenge seine Routenwahl überdenken kann, zeigt der Agent reaktives Verhalten. Diese Art von reaktivem Verhalten scheint aber in der Wirklichkeit nicht sehr ausgeprägt zu sein, da gemäss Daamen (2004) 75% der Menschen trotz einer grossen Menschenmenge nicht vom kürzesten Weg abweichen.

- Auf dem taktischen Level spielt **Proaktivität** eine wichtige Rolle, falls der Nutzen maximal sein soll. Der Agent hat ein Bild seiner Umwelt, welches er bei der Planung der Route einbeziehen kann. Agenten ordnen ihre Aktivitäten und wählen die Zielorte aus. Die verschiedenen, nun geordneten Zielpunkte müssen durch eine Route verbunden werden. Der Agent braucht hier ein genaues Bild der Umwelt, er muss wissen, welche Wege möglich sind. Weitere Faktoren, welche die Routenplanung beeinflussen können, sind: Sicherheit, Anzahl Attraktionen auf dem Weg, Wetterschutz, Lärm, Luftverschmutzung, Gehuntergrundqualität (vgl. Daamen (2004)). Der Agent zeigt

proaktives Verhalten, wenn er beim Start der Route weiss, auf welchem Weg er zu welcher Bank geht um Geld abzuheben und wie er anschliessend zum Kleidergeschäft gelangt. Proaktivität kann aber auch auf den Startzeitpunkt einen Einfluss haben. Der Agent geht vor der Mittagszeit zur Bank, weil er weiss, dass sich um die Mittagszeit Warteschlangen vor der Bank bilden. Proaktivität heisst hier nichts anderes als vorausschauend zu planen um den Nutzen zu maximieren, d.h. die Bedürfnisse mit dem für den Agenten kleinsten Aufwand zu befriedigen. Ein Agent kann aber nur proaktiv sein, wenn er auf einen Erfahrungsschatz zurückgreifen kann. Je grösser die Erfahrung ist, desto grösser wird der Nutzen sein.

- **Mobilität** ist wie auf dem strategischem Level zu betrachten. Alleine das Wissen, dass der Agent seinen Standort wechseln kann, reicht aus um die Aktivitäten und die Route zu planen.
- **Rationales Verhalten** hilft beim Planen einer nutzenmaximalen Route. So macht es keinen Sinn, zuerst ins Kleidergeschäft und anschliessend zur Bank zu gehen. Ein Agent kann sich rational verhalten, wenn er über Erfahrung verfügt. Die Aktivitätenreihenfolge hat also mit Rationalität zu tun.
- Wie in den Abschnitten Proaktivität und Rationalität erwähnt, ist Erfahrung nötig um erfolgreich Routen zu planen. Zeigt ein Agent **intelligentes Verhalten**, kann er diese Erfahrung erweitern, indem er sich merkt, was alles auf seinem Weg geschieht. Der Agent, der bei der Bank ankommt und sie geschlossen vorfindet, merkt sich die Öffnungszeiten der Bank und plant beim nächsten Mal dementsprechend. Ist der Agent nicht zu intelligentem Verhalten fähig, steht er vielleicht auch beim nächsten Mal vor verschlossenen Türen.

5.3 Operatives Verhalten

- **Autonomie** ist hier unbedingt vorausgesetzt. Der Agent entscheidet selber, ob er eine Aktion ausführt, kommuniziert, sich bewegt oder wartet. Fehlt diese Eigenschaft auf dem operativen Level, müsste dem Agenten jeder Schritt vorgegeben werden. Es gibt auch Grenzen der Autonomie, die nicht überschritten werden. Wartezeiten und Gehgeschwindigkeit haben in einem gewissen Bereich eine Verteilung, usw.
- Es liegt nahe, dass das **soziale Verhalten** auf dem operativen Level eine wichtige Stellung einnimmt. Agenten, die sich für eine Route entschieden haben und nun auf dem Weg sind, kommunizieren stets mit ihrer Umwelt. Sie müssen fähig sein anderen Agenten und Gegenständen auszuweichen, dafür müssen sie mit ihnen kommunizieren. Fehlt die Kommunikationsfähigkeit, werden die Agenten nicht fähig sein sich realistisch zu bewegen. Agenten können auch mit anderen Agenten kooperieren. Der Agent auf dem Weg zur Bank nimmt einen Agenten wahr, der ihm entgegen kommt. Die beiden kommunizieren miteinander und stellen fest, dass sie zusammenprallen, falls sie nichts unternehmen. Die beiden können nun kooperieren und einander ausweichen, damit beide weiterhin ihr Ziel erreichen können.
- Die Wichtigkeit der **Reaktivität** ist auf dem operativen Level als sehr hoch einzustufen. Zum Beispiel muss ein Agent ständig seine Geschwindigkeit anpassen, je nach Untergrund (Treppe, Rolltreppe, usw.) und nach Agentendichte. Eine grosse Agentendichte zwingt den Agenten auch dazu den kürzesten Weg zum Ziel zu verlassen. Auch die Zeit kann einen Agenten zwingen von seinem ursprünglichen Plan abzuweichen. Der Zug ist schon abgefahren, das Kaufhaus schliesst, usw. Nach einer

operativen Reaktion muss eventuell die Route neu geplant werden, was zu einem taktischen Entscheid führt. Ist der Agent lernfähig, hat Reaktivität auf dem operativen Level einen grossen Einfluss auf seine Erfahrung.

- Auf dem strategischen und taktischen Level reicht das Bewusstsein von **Mobilität** aus. Für operative Entscheide ist Mobilität an sich wichtig. Es ist nötig, dass sich der Agent bewegt um seine Ziele zu erreichen. Ohne Bewegung wird der Agent stillstehen und weder die Bank noch das Kleidergeschäft erreichen können.
- Die beiden Agenten, welche aufeinander zugehen und sich entschlossen haben einander auszuweichen, werden kaum anfangen zu rennen. Das wäre kein **Rationales Verhalten**. Vielmehr werden sie ihre Geschwindigkeit leicht verringern.
- Ist der Agent lernfähig, kann Reaktivität auf dem operativen Level einen grossen Einfluss auf seine Erfahrung haben. Diese Erfahrung kann er bei zukünftigen ähnlichen Situationen einsetzen. Das ist **intelligentes Verhalten**.

6 SimWalk

6.1 Überblick

SimWalk (siehe Savannah Simulations AG (2005b)) ist eine agentenbasierte Fussgänger-simulationssoftware der Firma Savannah Simulations AG (www.savannah-simulations.ch). Die Software richtet sich an Städte- und Verkehrsplaner, Ingenieure, Sicherheitsmanager und Architekten um Sicherheit und Begehbarkeit von Fussgängeranlagen zu simulieren und zu visualisieren.

Grundlage bilden CAD-Pläne der baulichen Struktur. SimWalk erkennt darin Linien als Wände. Verschiedene Parameter, auf die später eingegangen wird, können eingegeben werden. Startpunkte und Endpunkte können gesetzt und Agenten, die eine vorgegebene Route gehen, gebildet werden. Die Agenten suchen sich den kürzesten Weg zum Ziel. Der kürzeste Weg wird mittels eines Potentialfeldes bestimmt (vgl. Kapitel 6.2 und Kapitel 6.8).

Agenten in SimWalk gehen nicht durch Wände, halten einen minimalen Abstand zu Gegenständen und anderen Agenten ein und können dadurch vom kürzesten Weg abweichen und ihre Geschwindigkeit anpassen.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Entscheidungsebenen und Agentenattribute untersucht. Weiter werden die Bewegung der Agenten genau betrachtet, die Parameter in SimWalk untersucht und Vorschläge zur Programmentwicklung gemacht.

Während der vorliegenden Arbeit wurde mit SimWalk 1.6.1 gearbeitet.

6.2 Das Potentialfeld

Das Potentialfeld bildet die Grundlage der Bewegung der Agenten in SimWalk. An dieser Stelle soll der Sinn und die Funktionsweise des Potentialfeldes erklärt werden. Für Details zum Algorithmus zum Erstellen des Feldes (Wave Algorithm) siehe Stucki (2003) und Kapitel 6.8 auf Seite 18.

Durch den Wave Algorithmus wird für jeden Zielort vor dem Simulationsstart ein Potentialfeld berechnet. Der Grundriss wird in Zellen einer einstellbaren Grösse unterteilt. Für jede Zelle wird ein Potential berechnet. Das Potentialfeld hat die Eigenschaft, dass die Summe der Potentiale entlang der kürzesten Verbindung zwischen Start- und Zielpunkt minimal ist. Ein Agent kennt das Potential der Zelle, in welcher er sich befindet. Er kennt auch die Potentiale der acht Nachbarzellen. Indem er in Richtung des kleinsten Nachbarpotentials geht, findet er den kürzesten Weg zum Ziel.

Es gilt zu beachten, dass die Zellengrösse unabhängig von der Schrittweite eines Agenten ist. Das heisst, mehrere Agenten können sich gleichzeitig in derselben Zelle aufhalten. Das hat einen Einfluss auf das operative Verhalten (siehe Kapitel 6.5).

6.3 Strategisches Verhalten in SimWalk

Der Programmbenutzer legt die Aktivitäten, welche die Agenten ausführen sollen, fest. Das strategische Level fehlt deshalb in Simwalk, weil der Agent auf diesem Level keine Autonomie besitzt. Der Agent besitzt bereits vor Beginn der Simulation eine geordnete Liste von Aktivitäten.

Um Begehbarkeit oder Sicherheit einer Situation zu simulieren, ist es kein Nachteil, dass die Aktivitätenplanung vom Programmbenutzer übernommen wird. Dadurch kann der Programmbenutzer die Aktivitäten so festlegen, dass sich die Agenten verhalten, wie er es beabsichtigt. Zum Beispiel muss bei einem Brandszenario nicht ein Ereignis Feuer und die darauf folgende Reaktion zu flüchten modelliert werden. Durch das Festlegen der Anfangsposition der Agenten und aller Ausgänge als Zielpunkte, kann die Sicherheit des Gebäudes viel einfacher aufgezeigt werden.

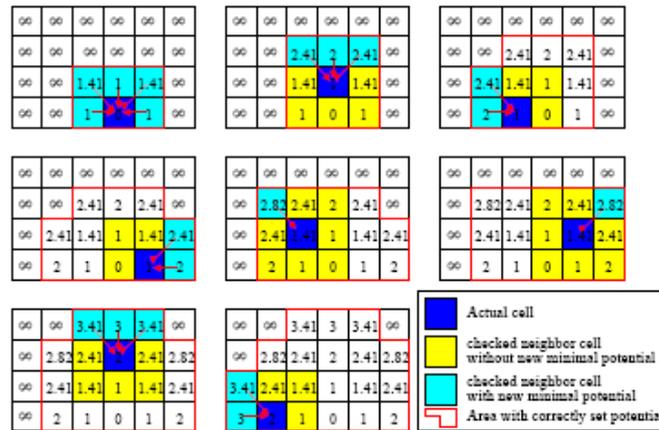


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt den Aufbau eines Potentialfeldes in SimWalk. Die Abbildung stammt aus Stucki (2003).

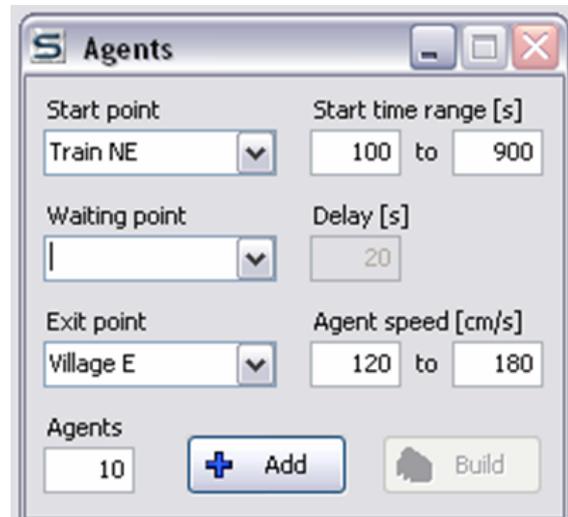


Abbildung 3: Screenshot aus SimWalk: Der Programm benutzer übernimmt das startegische Verhalten der Agenten, indem er ihnen die Stationen ihres Weges vorgibt.

6.4 Taktisches Verhalten in SimWalk

Wie in Kapitel 4 gesehen, gibt es bei taktischen Entscheidungen drei Komponenten. Die erste Komponente fällt wegen mangelnder Autonomie weg. Der Agent kann seine Aktivitäten weder selber planen, noch deren Reihenfolge selber bestimmen. Die Reihenfolge wird vom Programm benutzer vorgegeben. Ein Agent der einen Zug nehmen will, ein Billet kaufen und einen Kiosk aufsuchen will, kann nicht entscheiden, ob er zuerst an den Automaten oder zum Kiosk gehen möchte. Er wird die Reihenfolge einhalten, die ihm aufgezwungen wurde, selbst wenn er auf dem Weg zum Billetautomaten am Kiosk vorbei geht. Die Wahl des Zielortes wird dem Agenten überlassen. Gibt es mehrere Automaten, können sie alle unter dem gleichen Zielpunkt abgespeichert werden. Dadurch erhalten die Agenten die Autonomie sich den Automaten auszusuchen, welcher am nächsten liegt. Der Programm benutzer kann einem Agenten die Route nicht aufzwingen. Der Agent wird entscheiden, wie er von einem Punkt zum anderen kommt. Durch das Potentialfeld wird er den kürzesten Weg finden. Wird ein Agent von einer Agentenmenge vom Weg abgedrängt, kann er sich umentscheiden und einen Ort der gleichen Art besuchen, der jetzt näher ist.

Proaktivität ist insofern vorhanden, dass der Agent seine Route geplant hat, bevor er sich auf den Weg macht. Ein Agent wird nicht solange umher irren, bis er zufällig an seinen nächsten Zielpunkt kommt. Da es dem Agenten an Erfahrung mangelt, bleibt die Proaktivität auf einem bescheidenen Level.

Durch das erfahrungsbedingte Fehlen des rationalen Verhaltens wird die geplante Route nicht unbedingt nutzenmaximal. Der Agent will auf den Zug, dazu braucht er ein Billet. Es gibt verschiedene Billetautomaten. Einer befindet sich auf dem direkten Weg zum Zug, ein anderer hingegen z.B. in entgegengesetzter Richtung zur direkten Verbindung von Startpunkt und Zug. Ist nun dieser zweite Automat näher am Startpunkt, als jener der auf dem direkten Weg liegen würde, wählt der Agent den zweiten Automaten aus. In der Summe ergibt das einen längeren Weg. Der Aufwand, um die Ziele zu erreichen, ist nicht minimal, da der Agent aufgrund seiner fehlenden Erfahrung nicht rational handeln kann. Sinnvoll wäre zwischen erfahrenen und unerfahrenen Agenten zu unterscheiden. Denn es gibt sicher auf jedem Bahnhof Menschen, die zum ersten Mal da sind. Sie würden sich vielleicht für den Automaten entscheiden, der am nächsten ist, weil sie von der Existenz des anderen gar nichts wissen. Kenner des Bahnhofs, werden sich nicht durch den näheren Automaten anlocken lassen, sondern sich direkt auf den Weg zum Zug machen, im Wissen, dass sie an einem Automaten vorbeikommen.

Ein Agent in SimWalk ist nicht fähig auf dem taktischen Level Erfahrung zu sammeln. Er würde sich immer wieder gleich verhalten.

Damit in SimWalk realistische Routen geplant werden können, muss der Programmbenutzer den Agenten auf dem taktischen Level so viel Autonomie wie möglich nehmen. Er muss auch die Eigenschaften Proaktivität und rationales Handeln für die Agenten übernehmen.

6.5 Operatives Verhalten in SimWalk

Ein Agent in ShopSim ist in seinem operativen Verhalten autonom. Er entscheidet selber über seine Geschwindigkeit und Richtung. Der Agent sucht sich den kürzesten Weg um zum Ziel zu gelangen.

Ein Agent hält zu Objekten immer einen gewissen, einstellbaren Abstand, sofern er nicht situationsbedingt näher zur Wand hin gehen muss. Dieses Verhalten entspricht einem realen Fussgänger. Jeder Fussgänger versucht nicht zu nahe an Wänden entlang zu gehen. Er kann sich aber der Mauer weiter nähern, wenn ihm die Ausweichmöglichkeiten fehlen. Grosse Menschenmengen, Fahrzeuge oder ein enger Durchgang können einen Fussgänger zu diesem Verhalten zwingen. Agenten in SimWalk können also Gegenstände wahrnehmen und reaktiv handeln.

Kommen Agenten einander näher als ein einstellbarer Wert, geschieht das gleiche wie bei Wänden. Die Agenten zeigen hier soziale Fähigkeiten, indem sie einander wahrnehmen und miteinander kommunizieren. Die Agenten versuchen sich auszuweichen. Dabei versuchen sie den minimalen Abstand zueinander zu halten. Ist es nicht möglich den minimalen Abstand zu halten, können sie sich im Notfall auch weiter nähern. Die Agenten zeigen auch bei der Wahrnehmung von anderen Agenten Reaktivität. Das zeigt sich im Ausweichmanöver.

Wie bereits gesehen, haben Agenten in SimWalk ein ausgeprägtes reaktives Verhalten. Weiter handeln sie auch rational. Die Agenten sind sich der Hindernisse bewusst und ziehen den logischen Schluss diesen Hindernissen auszuweichen, was durch ihre reaktiven Fähigkeiten auch möglich ist. Diese beiden Fähigkeiten zeigen sich ebenfalls dadurch, dass die Agenten ihre Geschwindigkeit der Situation anpassen können.

Die Agenten in SimWalk müssen für operative Entscheide kein intelligentes Verhalten haben. Sie sind mit allen Erfahrungen ausgerüstet, die sie benötigen um sich realistisch zu verhalten.

6.6 Parameter in Simwalk

In SimWalk können verschiedene Parameter durch den Programmbenutzer eingestellt werden. Es folgt eine Übersicht dieser Parameter und es wird versucht die Parameter in Bezug zu den Agenteneigenschaften und den Entscheidungsebenen zu setzen. Am Ende jedes Parameterbeschriebes ist jeweils der Bereich angegeben in welchem sich der Parameterwert bewegen kann, sowie die Schrittgrösse, mit welcher der Parameter verändert werden kann und die Einheit des Parameters. Das sieht wie folgt aus: [min;max;Schritt;Einheit]

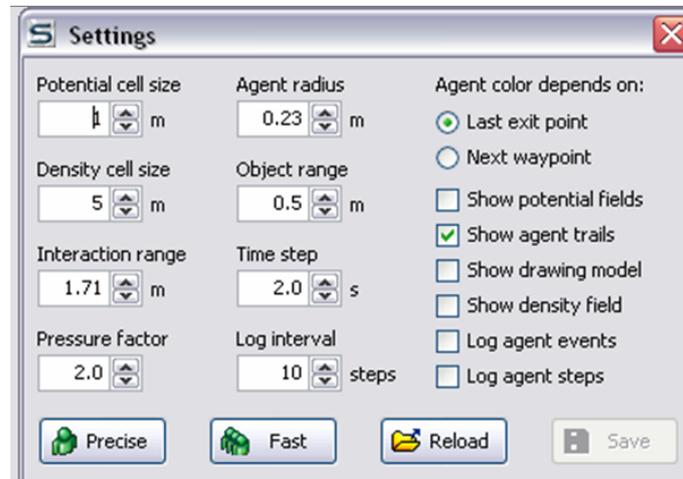


Abbildung 4: Screenshot aus SimWalk: Die einzelnen Parameter können hier angepasst werden.

- Der Parameter **Potential Cell Size** gibt in Metern an, wie gross eine Zelle ist, in der das gleiche Potential herrscht. Es können mehrere Agenten in der gleichen Zelle sein. Dieser Parameter hat Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse. Je grösser die Zelle, desto ungenauer sind die Ergebnisse und desto weniger Rechenleistung wird benötigt. [0.25;2.0;0.25;m]
- Mit dem Parameter **Density Cell Size** kann festgelegt werden, über welche Fläche die Agentendichte bestimmt wird. Angenommen die Density Cell Size beträgt 10 m². Befinden sich innerhalb einer Zelle 20 Agenten entspricht die Agentendichte 2 Agenten pro m². [1.0;10.0;1.0;m]
- Agenten beginnen erst auf andere Agenten aktiv zu reagieren wenn sie in einer gewissen Distanz zu einem anderen Agenten sind. In SimWalk kann diese Distanz im Parameter **Interaction Range** in Metern eingegeben werden. Durch diesen Parameter wird die Eigenschaft Reaktivität beeinflusst. Dank dieses Parameters ist es Agenten überhaupt möglich soziale Fähigkeiten zu zeigen. Der Defaultwert von 1.71 m wurde aus der Arbeit von Mauron (2002) übernommen. [1.00;5.00;0.01;m]
- Auch bei Objekten müssen Agenten reagieren, wenn sie sich in einer gewissen Distanz zum Objekt befinden. Diese Distanz kann in Metern mit dem Parameter **Object Range** eingestellt werden. Die Agenten möchten diese Distanz (Object Range) zu den Objekten beibehalten, falls es möglich ist. [0.0;10.0;0.1;m]
- Mit dem Parameter **Pressure Factor** wird dafür gesorgt, dass Agenten, die sich kreuzen einen gewissen Abstand von einander haben. Durch diesen Parameter sind sich Agenten der Anwesenheit anderer Agenten bewusst. Sie versuchen einen minimalen Abstand zu einander zu halten. Die Agenten können miteinander kommunizieren und kooperieren. [0.5;3.0;0.1;-]

- Der **Agent Radius** gibt dem Agenten eine Grösse. Agenten sind sich ihres Umfangs bewusst und berücksichtigen ihn auf ihrem Weg, indem sie zu Gegenständen und anderen Agenten einen entsprechend grösseren Abstand halten. [0.20;0.50;0.01;m]
- Der **Timestep** gibt an, nach wievielen Sekunden der nächste Schritt gerechnet wird. Der Parameter sollte vernünftigerweise so eingestellt werden, dass er im Bereich der Zeit für einen Schritt liegt. [0.5;5.0;0.5;s]
- Der Parameter **Log Interval** gibt an, in welchem Abstand die Positionen der Agenten ins Logfile übertragen werden. Je grösser dieser Abstand ist, desto ungenauer wird die Analyse der Ergebnisse. [1;100;1;-]
- Der **Start Time Range** beeinflusst die Autonomie der Agenten. Die Startzeit wird vom Programmbenutzer nur als Bereich angegeben. Dadurch entscheiden die Agenten selber, wann sie ihre Route beginnen wollen. Die Startzeiten sind im angegebenen Bereich gleichverteilt. Hier würde sich ein Poissonprozess empfehlen um die Startzeiten zu bestimmen. [0;9999;1;s]
- Die Reaktivität auf dem operativen Level wird massgeblich vom Parameter **Agent speed** beeinflusst. Die Geschwindigkeit eines Agenten wird in einem gewissen Bereich angegeben. Der Agent entscheidet selber, wie schnell er unterwegs sein möchte. Das ist seine Wunschgeschwindigkeit. Je nach Situation können die Agenten ihre Geschwindigkeit anpassen. Die Wunschgeschwindigkeiten sind im angegebenen Bereich gleichverteilt. [0;9999;1;s]
- Muss ein Agent an einem Punkt warten, wartet er solange, wie der Programmbenutzer die Wartezeit (**Delay**) eingestellt hat. Die Wartezeit ist pro Wartepunkt eine deterministische Grösse. [0;999;cm/s;1]

6.7 Das “Soziale Kräfte Modell” (SKM)

In den letzten Kapiteln wurden die Agenten in SimWalk vom Standpunkt des Programmbenutzers betrachtet. Es wurde gezeigt, welche taktischen Entscheidungen ein Agent treffen muss und welche Entscheidungen durch den Programmbenutzer festgelegt werden können. Zum Beispiel die Aufenthaltsdauer an einem Billetautomaten.

In den vorangegangenen Kapiteln wurde in einer beobachtenden Weise die Bewegung der Agenten beschrieben. In diesem Kapitel wird die Bewegung der Agenten auf einem abstrakteren, mathematischeren Level betrachtet. Das Ziel ist die Bewegung in SimWalk möglichst genau beschreiben zu können (Siehe Kapitel 6.8).

Als ersten Schritt wird das SKM von Molnár (1995) bzw. Helbing and Molnár (1995) betrachtet. In diesem Modell wird ein Agent von verschiedenen sogenannten sozialen Kräften auf seinem Weg gesteuert. Es gibt die folgenden Kräfte, welche auf einen Agenten einwirken.

- **Ziel:** Eine Kraft zieht den Agenten zu seinem angestrebten Ziel hin.
- **Fussgänger:** Fussgänger stossen einander ab, sobald sie sich innerhalb einer gewissen Distanz befinden.
- **Hindernisse:** Ein Agent wird von Hindernissen, z.B. Mauern abgestossen, sobald er sich innerhalb einer gewissen Distanz zum Hindernis befindet.
- **Attraktionen:** Ein Schaufenster zieht einen Agenten an, wenn er sich in einer gewissen Distanz zum Schaufenster befindet. Der Agent geht näher und bleibt eventuell auch stehen.

- **Gruppen:** Oft sind Fussgänger in kleinen Gruppen unterwegs. Die Gruppenmitglieder ziehen sich gegenseitig an.

Aufgrund der Struktur von SimWalk wird bei den weiteren Ausführungen auf die Attraktionskraft und die Gruppenkraft verzichtet. Es wird also mit einem vereinfachten SKM gearbeitet, in welchem die auf Agent i wirkende Kraft $\vec{f}_i(t)$ wie folgt definiert ist.

$$\vec{f}_i(t) = \vec{f}_i^0(t) + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t) + \sum_w \vec{f}_{iw}(t) + \vec{\varepsilon}_i(t), \quad \vec{\varepsilon}_i(t) = \langle \vec{e}_i^0(t), \vec{f}_i(t) \rangle \cdot N(0, \sigma^2) \cdot \vec{e}_i^\perp(t) \quad (1)$$

Der Zufallsterm $\vec{\varepsilon}_i(t)$ widerspiegelt Kräfte, die nur einen kleinen Einfluss auf den Agenten haben. Dadurch werden zwei Agenten auch nie exakt aufeinander zugehen. Die Gefahr, dass sie sich nur abbremsen, anstatt einander auszuweichen, besteht somit nicht. Die treibende Kraft $\vec{f}_i^0(t)$, die den Agenten immer wieder in Richtung seines Zieles zieht, ist bestimmt durch Gleichung 2. Diese Kraft kann als innere Kraft angeschaut werden, da sie vom Agenten selber kommt. Durch seinen internen Zustand wird die Wunschgeschwindigkeit bestimmt. Durch einen taktischen Entscheid wird die Wunschrichtung bestimmt, indem vom Agenten ein Teilziel ausgewählt wurde.

$$\vec{f}_i^0(t) = \frac{1}{\tau_i} \cdot (v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t) - \vec{v}_i(t)) \quad (2)$$

$$\vec{e}_i^0(t) = \frac{\vec{r}_z - \vec{r}_i}{\|\vec{r}_z - \vec{r}_i\|} \quad (3)$$

Wobei v_i^0 die Wunschgeschwindigkeit, $\vec{e}_i^0(t)$ der Richtungsvektor und $\vec{v}_i(t)$ die aktuelle Geschwindigkeit ist. τ_i ist eine Zeitkonstante. \vec{r}_z ist die Position des Ziels und \vec{r}_i die Position des Fussgängers i .

Die beiden anderen Komponenten des vereinfachten SKM sind sich sehr ähnlich. Beide Komponenten bringen den Agenten dazu von der Idealroute abzuweichen. Die Kraft, welche zwischen einem Fussgänger i und einem Fussgänger j wirkt, wird mit \vec{f}_{ij} bezeichnet. Die Kraft, welche zwischen einem Fussgänger i und einem Hindernis w wirkt, wird mit \vec{f}_{iw} bezeichnet. Für die Kraft zwischen zwei Fussgängern schlagen Helbing and Molnár (1995) einen exponentiellen Ansatz vor.

$$U_{ij}(t) = A_p \cdot e^{-\frac{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|}{B_p}} \quad (4)$$

$$\vec{f}_{ij}(t) = -\nabla_{\vec{r}_j} \cdot U_{ij}(t) \quad (5)$$

$$\vec{f}_{ij}(t) = C_p \cdot e^{-\frac{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|}{B_p}} \cdot \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|} \quad (6)$$

Die aktuellen Positionen der Agenten werden mit den Vektoren \vec{r}_i und \vec{r}_j dargestellt. B_p ist der Interaktionsradius der Agenten. Der Faktor $C_p = \frac{A_p}{B_p}$ zeigt, wie stark die Wechselwirkung zwischen den Agenten ist. Ist $C_p = 0$ findet gar keine Interaktion statt. In der Arbeit von Molnár (1995) werden zwei Erweiterungen vorgeschlagen. Diese werden hier nicht berücksichtigt.

Die Kraft welche einen Fussgänger von einem Hindernis abstösst, kann wiederum mit einer Exponentialfunktion beschrieben werden.

$$U_{iw}(t) = A_w \cdot e^{-\frac{\|\vec{r}_{iw}\|}{B_w}} \quad (7)$$

$$\vec{r}_{iw} = \vec{r}_i - \vec{r}_w^i \quad (8)$$

$$\vec{f}_{iw}(t) = -\nabla_{\vec{r}_j} \cdot U_{iw}(t) \quad (9)$$

$$\vec{f}_{iw}(t) = C_w \cdot e^{-\frac{\|\vec{r}_i - \vec{r}_w^i\|}{B_w}} \cdot \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_w^i}{\|\vec{r}_i - \vec{r}_w^i\|} \quad (10)$$

Die Position des am nächsten zum Agenten liegenden Punktes des Hindernisses wird mit \vec{r}_w^i dargestellt. B_w und $C_w = \frac{A_w}{B_w}$ sind wie die Parameter in Gleichung 6 auf der vorherigen Seite zu verstehen.

Durch Gleichung 1 auf der vorherigen Seite wird die Richtung und Stärke der Ablenkung vom aktuellen Bewegungszustand bestimmt. Das kann als Beschleunigung verstanden werden, wenn die Masse m_i der Agenten gleich 1 gesetzt wird. Daraus folgt für die Geschwindigkeit des Agenten im nächsten Zeitschritt.

$$\vec{a}_i(t) = \frac{\vec{f}_i(t)}{m_i} = \vec{f}_i(t) \quad (11)$$

$$\vec{v}_i(t + \Delta t) = \vec{v}_i(t) + \vec{f}_i(t) \cdot \Delta t \quad (12)$$

Damit ist das vereinfachte SKM nach Helbing and Molnár (1995) definiert.

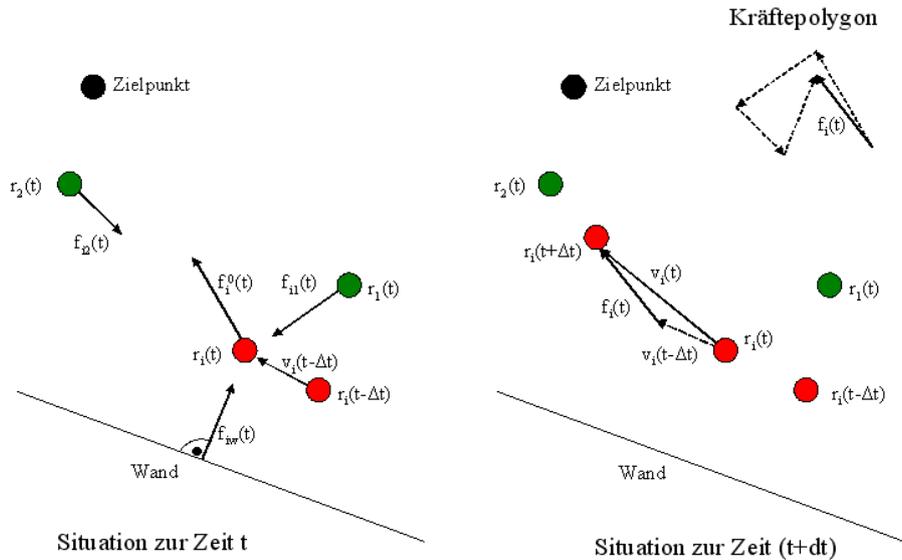


Abbildung 5: Die Situation zur Zeit t zeigt alle auf den Agenten i einwirkenden Kräfte. Die Kräfte werden zu einem Kräftepolygon zusammengeführt, daraus resultiert die soziale Kraft \vec{f}_i . Die resultierende Kraft wird mit Δt multipliziert und zur aktuellen Geschwindigkeit addiert. Die Situation zum Zeitpunkt $t + \Delta(t)$ zeigt die daraus entstandene neue Geschwindigkeit für den nächsten Zeitschritt und die neue Position des Agenten.

6.8 Die Bewegung der Agenten in SimWalk

Im Folgenden wird untersucht, wie die einzelnen Kräfte in SimWalk implementiert sind. Durch das vorgängig angelegte Potentialfeld (vergl. 6.2 und Stucki (2003)) findet der Agent

zu seinem Ziel. Bei jedem Schritt strebt der Agent in Richtung der Nachbarzelle mit dem kleinsten Potential. Dadurch ist eine Kraft \vec{f}_i^0 vorhanden. Das Potentialfeld in SimWalk beinhaltet zugleich auch noch eine weitere Kraft. Die Abstossung von einer Wand \vec{f}_{iw} ist so implementiert, dass alle Potentiale, die weniger als $B_w = 0.5$ m von einer Wand entfernt sind, um den Wert 1.5 erhöht werden.

	Soziales Kräfte Modell	SimWalk
$\vec{f}_i(t)$	$\vec{f}_i^0(t) + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t) + \sum_w \vec{f}_{iw}(t) + \vec{\varepsilon}_i(t)$	$\vec{f}_i^0(t) + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t)$
$\vec{f}_i^0(t)$	$\frac{1}{\tau_i} \cdot (v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t) - \vec{v}_i(t))$	$v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t)$
$\vec{f}_{ij}(t)$	$C_p \cdot e^{-\frac{\ \vec{r}_i - \vec{r}_j\ }{B_p}} \cdot \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{\ \vec{r}_i - \vec{r}_j\ }$	$C_p \cdot e^{-\frac{\ \vec{r}_i - \vec{r}_j\ }{B_p}} \cdot \frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{\ \vec{r}_i - \vec{r}_j\ }$
$\vec{f}_{iw}(t)$	$C_w \cdot e^{-\frac{\ \vec{r}_i - \vec{r}_w^i\ }{B_w}} \cdot \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_w^i}{\ \vec{r}_i - \vec{r}_w^i\ }$	in $\vec{f}_i^0(t)$ integriert
$\vec{v}_i(t + \Delta t)$	$\vec{v}_i(t) + \vec{f}_i(t) \cdot \Delta t$	$v_i^0 \cdot \frac{\vec{f}_i(t)}{\ \vec{f}_i(t)\ }$

Tabelle 2: Vergleich des Sozialen Kräfte Modells mit der Implementierung in SimWalk

An dieser Stelle soll der Algorithmus (Wave Algorithm, vgl. Stucki (2003)) erklärt werden, mit welchem das Potentialfeld aufgebaut wird (siehe Kapitel 2 und Abb. 6). Das gibt eine Vorstellung davon, wie die beiden Kräfte implementiert wurden. Das Potential der Zelle, in welcher sich das Ziel befindet, wird gleich Null gesetzt und die Zelle kommt in eine Prioritätenliste. Allen anderen Zellen wird ein sehr grosser Wert zugeordnet. Die oberste Zelle in der Liste wird geprüft. Gibt es für diese Zelle sichtbare Nachbarzellen bekommen diese das um 1 höhere Potential, wenn sie horizontale oder vertikale Nachbarzellen sind. Sind es diagonale Nachbarzellen bekommen sie das um $\sqrt{2}$ höhere Potential. Alle Zellen, bei denen ein neues Potential eingetragen wurde, kommen in die Prioritätenliste. Die mit dem tiefsten Potential zuerst. Die geprüfte Zelle wird aus der Liste entfernt. Jetzt wird wieder die oberste Zelle in der Liste gewählt und die Potentiale entsprechend gesetzt. Dieses Vorgehen wird solange wiederholt, bis sich keine Zellen mehr in der Liste befinden. Wie oben erwähnt, wird das Potential für alle Zellen, die weniger als $B_w = 0.5m$ von einer Wand entfernt sind, um 1.5 erhöht (siehe Abb.8).

Gibt es mehrere gleichberechtigte Zielpunkte (z.B. verschiedene Billetautomaten), wird das Potential aller Zellen, die einen Zielpunkt enthalten, auf Null gesetzt (siehe Abb. 7 auf der nächsten Seite). Gibt es mehrere nicht gleichberechtigte Zielpunkte, muss für jeden Zielpunkt ein eigenes Potentialfeld erstellt werden.

Um die Bewegung in SimWalk verstehen zu können, wird zuerst ein ganz einfacher Fall betrachtet. Ein einzelner Agent befindet sich im System. Dieser Agent besitzt einen Startort, einen Zielort und eine Wunschgeschwindigkeit v_i^0 . Vorgängig wurde das Potentialfeld unter Berücksichtigung aller Wände aufgebaut. Der Agent setzt sich mit seiner Wunschgeschwindigkeit in Bewegung. Die Richtung, in die er sich bewegt, ist durch das Potentialfeld gegeben. Er geht in Richtung der Nachbarzelle mit dem kleinsten Potential. Das wiederholt er im nächsten Zeitschritt, bis er am Ziel ist. Der Agent verhält sich in diesem Fall nicht ganz realistisch, weil er auch durch Richtungswechsel nicht langsamer wird. Das heisst, wenn der Agent um eine Mauer herumgehen muss, tut er dies mit der Wunschgeschwindigkeit. In diesem Fall wurde davon ausgegangen, dass der Agent in jedem Zeitintervall einen ganzen Schritt ($v_i^0 \cdot \Delta t \cdot \vec{e}_i^0(t)$) ausführen kann. Somit ergibt sich für diesen einfachen

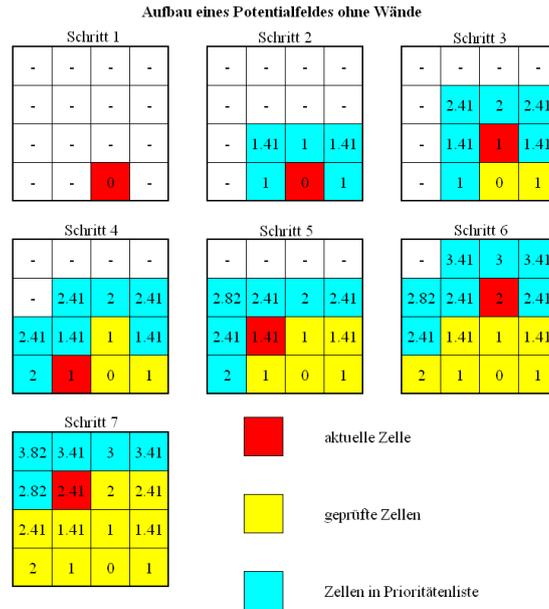


Abbildung 6: Die Abbildung zeigt das Vorgehen beim Aufbau eines Potentialfeldes in Sim-Walk ohne Wände.

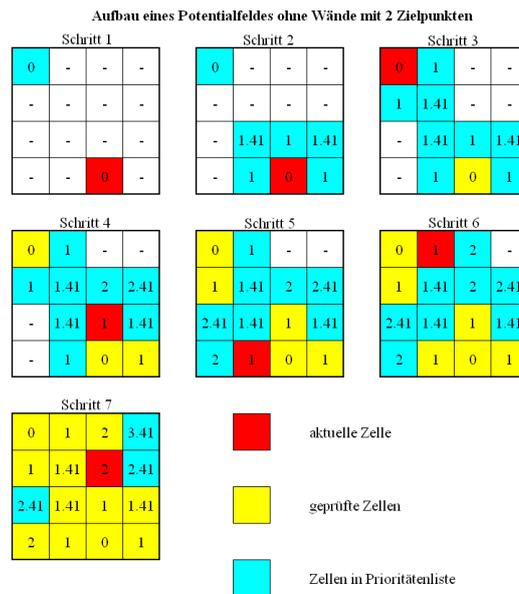


Abbildung 7: Die Abbildung zeigt das Vorgehen beim Aufbau eines Potentialfeldes in Sim-Walk ohne Wände mit 2 Zielpunkten.

Fall:

$$\vec{f}_i^0(t) = \frac{1}{\tau} \cdot (v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t) - \vec{v}_i(t)) = v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t) \tag{13}$$

Wobei v_i^0 die Wunschgeschwindigkeit und $\vec{e}_i^0(t)$ der auf 1 normierte Richtungsvektor, unter Berücksichtigung aller Wände im Potentialfeld ist. Der Richtungsvektor entspricht jeweils der Richtung von der aktuellen Position zur Nachbarzelle mit dem kleinsten Potential. Im Gegensatz zum SKM wurde τ_i auf 1 gesetzt und die aktuelle Geschwindigkeit spielt keine Rolle.

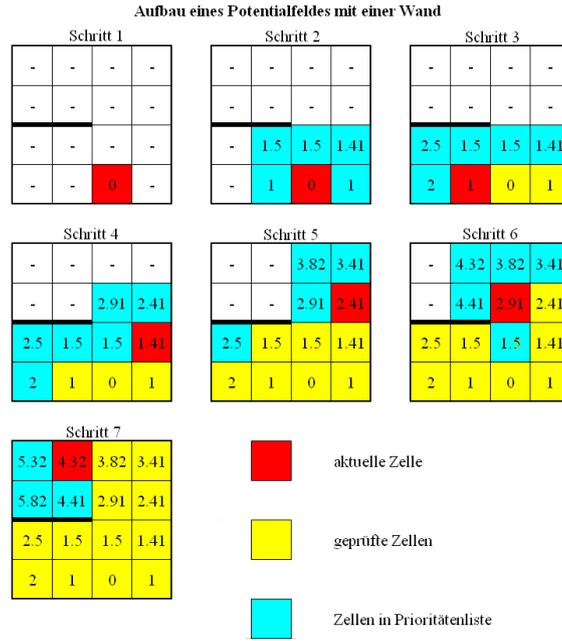


Abbildung 8: Die Abbildung zeigt das Vorgehen beim Aufbau eines Potentialfeldes in SimWalk mit einer Wand.

$$\vec{v}_i(t + \Delta t) = \vec{v}_i(t) + \vec{f}_i(t) \cdot \Delta t = v_i^0 \cdot \vec{e}_i^0(t) \cdot \Delta t \quad (14)$$

Wegen der Normierung des Richtungsvektors und der Nichtberücksichtigung der aktuellen Geschwindigkeit ist die Länge des Geschwindigkeitsvektors stets gleich der Wunschgeschwindigkeit mal Zeitschritt. Die Schrittweite ist also konstant.

In einem zweiten Fall gibt es mehrere Agenten im System. Der Einfachheit halber werden nur zwei Agenten im System betrachtet. Sind mehr als zwei Agenten im System, funktioniert alles genau gleich. Die beiden Agenten sind im System unterwegs. Beim Planen seines nächsten Schrittes nimmt der eine Agent innerhalb seines Interaktionsradius den anderen wahr. Es gibt eine abstossende Kraft zwischen den Agenten. Das wird dazu führen, dass der Agent von seiner bevorzugten Richtung abgedrängt wird. Der Agent erhält also eine neue Richtung. Es wird wieder davon ausgegangen, dass sich in dieser Richtung kein Hindernis befindet. Dann wird der Agent mit der Wunschgeschwindigkeit in die neue Richtung gehen. Die Kraft zwischen den beiden Agenten ist gegeben durch:

$$\vec{f}_{ij}(t) = C_p \cdot e^{-\frac{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|}{B_p}} \cdot \frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|} \quad (15)$$

Diese Kraft existiert nur, wenn die Agenten einen Abstand zueinander haben, der kleiner als der Interaktionsradius B_p ist. Ansonsten wird die Kraft 0 gesetzt. C_p ist der Abstossungsfaktor. Die Kraft $\vec{f}_i^0(t)$ bleibt dieselbe wie in Gleichung 13. Werden alle Kräfte summiert, ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\vec{f}_i(t) = \vec{f}_i^0(t) + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t) \quad (16)$$

$\vec{f}_i(t)$ ist also jene resultierende Kraft, die entsteht, wenn alle auf den Fussgänger einwirkende Kräfte (Fussgänger, Wunschrichtung, Wände) summiert werden. $\vec{f}_i^0(t)$ hat keinen

Einfluss auf die Geschwindigkeit, sondern nur auf die Richtung. Durch die Normierung der Kraft $\vec{f}_i(t)$ ergibt sich für den Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}_i(t)$ mit der Länge v_i^0 (Wunschgeschwindigkeit):

$$\vec{v}_i(t) = v_i^0 \cdot \frac{\vec{f}_i(t)}{\|\vec{f}_i(t)\|} \quad (17)$$

Soll nun die neue Position des Agenten berechnet werden, muss der Geschwindigkeitsvektor mit dem Zeitschritt multipliziert und zur aktuellen Position dazu gezählt werden.

$$\vec{r}_i(t + \Delta t) = \vec{r}_i(t) + \vec{v}_i(t) \cdot \Delta t \quad (18)$$

Ein Agent möchte also immer in die Richtung des kleinsten Potentials gehen und zwar mit seiner Wunschgeschwindigkeit. Wird der Agent durch andere Agenten von seiner Wunschrichtung abgedrängt, folgt er der neuen Richtung, das aber noch immer mit seiner Wunschgeschwindigkeit. Sobald der Einfluss von anderen Agenten gleich Null wird, findet der Agent wieder auf den idealen Pfad zum Ziel zurück. Nun ist es aber nicht immer möglich, dass ein Agent seinen gewünschten Schritt mit der Wunschgeschwindigkeit ausführen kann. In diesem Fall muss eine Reaktion des Agenten folgen. Die gewünschte Position ist möglich, wenn folgende Kriterien nach Stucki (2003) erfüllt sind.

- Die gewünschte Position muss innerhalb der Systemgrenzen liegen.
- Die minimale Distanz zwischen einem Objekt und einem Agenten muss mindestens dem Agenten Radius entsprechen.
- Die minimale Distanz zwischen zwei Agenten muss mindestens dem doppelten Agenten Radius entsprechen.
- Es dürfen sich keine Objekte zwischen dem Agenten und der gewünschten Position befinden.
- Die neue Richtung darf nicht mehr als 90° von der alten Richtung abweichen. Das heisst ein Agent geht vorwärts.

Ist eines dieser Kriterien nicht erfüllt, muss der Agent eine Alternative finden. Als erstes prüft der Agent, ob er durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit in die Richtung $\vec{e}_i(t)$ gehen könnte. Sind alle oben erwähnten Kriterien bei einer Geschwindigkeit erfüllt, die mindestens der Hälfte der Wunschgeschwindigkeit entspricht, wird er den Schritt ausführen. Wenn nicht wird er sich einen neuen Richtungsvektor $\vec{e}_i^0(t)$ suchen. Dieser zeigt dann nicht mehr in die Richtung des kleinsten, sondern in die Richtung des zweitkleinsten Potentials. Der Wunschrichtungsvektor wird solange angepasst, bis der Agent eine mögliche Position findet. Findet der Agent so keine mögliche Position darf er die Geschwindigkeit bis auf ein Viertel der Wunschgeschwindigkeit reduzieren. Findet er auch so keine mögliche Position, darf der Agent die Geschwindigkeit weiter senken und er muss das letzte Kriterium nicht mehr beachten. Der Agent darf nun auch einen Schritt zurück machen. Ist das nicht möglich, behält er in diesem Simulationsschritt seine aktuelle Position bei.

Es ist aber auch möglich, dass der Agent einen ganzen Schritt ausführen könnte, er aber so das Ziel verpassen würde, weil die Schrittweite grösser ist als die Distanz von der aktuellen Position zum Ziel. Die Simulationen haben gezeigt, dass der Agent in einem solchen Fall, seinen letzten Schritt anpasst, so dass er sein Ziel erreicht und nicht darüber hinweggeht. Der Agent erreicht sein Ziel bevor der Simulationsschritt fertig ist. Es scheint, dass der Agent seine Geschwindigkeit für den Rest des Simulationsschrittes auf Null setzt, nachdem er sein Ziel erreicht hat.

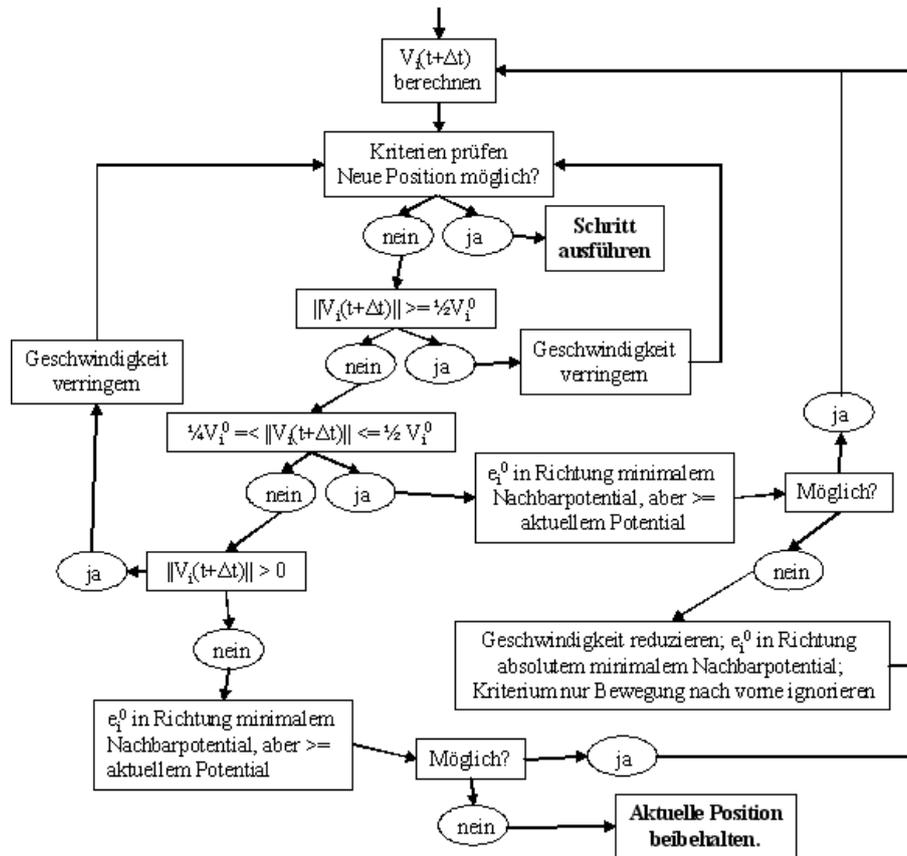


Abbildung 9: Ablaufschema der Bewegung in SimWalk.

6.9 Vorschläge zur Programmentwicklung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde schon auf einige Aspekte hingewiesen, welche in SimWalk implementiert werden könnten. Hier folgt eine Auflistung dieser und weiterer Punkte.

- In SimWalk sind alle Agenten vom gleichen Typ. Jeder Agent besitzt eine Wunschgeschwindigkeit und Ziele. Weitere Merkmale haben die Agenten nicht. Durch zusätzliche Merkmale wie Alter und Geschlecht könnten mit SimWalk genauere Analysen gemacht werden. Beim Erstellen der Agenten könnte der Programmbenutzer dann eingeben, wieviel Prozent von welcher Agentengruppe er in der Simulation haben möchte.
- Fussgänger verhalten sich je nach Umgebung anders. Zum Beispiel bewegt sich ein Fussgänger in einem Bahnhof anders, als in einem Einkaufszentrum. In SimWalk können die Agenten nicht unterscheiden in was für einer Umgebung sie sich befinden. Könnte eingegeben werden was für eine Umgebung simuliert werden soll und würden sich die Agenten dadurch entsprechend anders verhalten, würde das die Simulationen genauer machen.
- Agenten in SimWalk können bis anhin nur einzelne Wegetappen optimieren. Das heisst, wie in Kapitel 6.4 auf Seite 13 beschrieben wurde, dass nicht unbedingt der ganze Streckenzug optimiert wird. Hat ein Agent mehrere Billetautomaten zur Verfügung, sollte er nicht jenen wählen, der sich am nächsten bei seiner aktuellen Position befindet. Optimal wäre, wenn er den Zielpunkt, den er nach dem Automaten besuchen will, mit in seine Berechnung einbeziehen würde und so nicht die Strecke zwischen zwei sondern zwischen drei Punkten optimieren würde.

- Die Wunschgeschwindigkeit ist in einem einstellbaren Intervall gleichverteilt. Hier empfiehlt es sich mit einer normalverteilten Wunschgeschwindigkeit zu arbeiten, vergleiche Daamen (2004). Der Mittelwert und die Standardabweichung sind vom Agententyp abhängig. Diese beiden Werte sollten vom Programmbenutzer angepasst werden können. Allerdings mit dem Verweis, dass diese Werte nur angepasst werden sollen, wenn es unbedingt nötig ist.
- Die Aufenthaltszeit an einem Ort ist aktuell eine deterministische Grösse. Das scheint nicht realistisch zu sein. Die Aufenthaltszeit könnte als exponentialverteilt mit einer mittleren Wartezeit modelliert werden. Auch eine normalverteilte Wartezeit wäre denkbar. Mittelwert und Standardabweichung wären abhängig von der Art des Warteortes.
- Die Startzeiten, zu welchen die Agenten an den Startpunkten losgehen, sind in einem einstellbaren Intervall gleichverteilt. Dies könnte als Poissonprozess modelliert werden. Der Programmbenutzer gibt die Rate an, mit welcher die Agenten erzeugt werden.
- Um eine Evakuierung zu simulieren, ist es wichtig den Aufenthaltsort der Personen zu kennen, bevor die Evakuierung losgeht. In einem Kino ist es meist so, dass die besten Reihen auch am stärksten ausgelastet sind. Für die Planung der Notausgänge ist das wichtig. In SimWalk gibt es die Möglichkeit jeden Agenten einzeln an einen Ort zu platzieren, indem für jeden Agenten ein eigener Startpunkt angelegt wird. Bei einem Kino mit mehreren hundert Plätzen kann dies mühsam werden. Deshalb gibt es in Simwalk auch die Möglichkeit anstelle eines Startpunktes ein Startfeld zu definieren. Die zu erzeugenden Agenten starten zufällig bei einer Position in diesem Feld, hierbei ist die zufällige Anordnung das Problem. Wie bereits erwähnt, muss bei einer Evakuationsimulation die Position der einzelnen Agenten genauer bekannt sein. Bei der Auswertung von Simulationen mit einem Startfeld ist dies zu berücksichtigen. Falls SimWalk oft bei der Simulation von Kinos, Theater und Stadien zum Einsatz kommt, sollte darüber nachgedacht werden, wie die Eingabe vereinfacht werden kann. Ein Vorschlag wäre ein Knotennetz über den Bereich zu legen, in welchem die Agenten sitzen. Ein Eingabeparameter müsste den Abstand zwischen den Knoten bestimmen. Alle Knoten müssten automatisch durchnummeriert werden. Der Programmbenutzer sollte dabei einzelne oder mehrere Knoten aufs Mal auswählen können um die Agenten zu setzen.
- Sollen Agenten in Simwalk von einem Punkt A zu einem Punkt B und schliesslich zu einem Punkt C gehen, ist die Eingabe etwas umständlich. Zuerst werden Agenten gebildet, die von A nach B gehen. Bei B wird die Wartezeit eingegeben. Danach werden Agenten gebildet, die von A nach C gehen. Von Vorteil wäre, wenn der ganze Streckenzug in einem Durchlauf eingegeben werden könnte.
- Möchte der Programmbenutzer Sensitivitätsanalysen durchführen, d.h. testen, wie sich die einzelnen Parameter auf die Simulation auswirken, ist es nötig, dass immer von der gleichen Situation ausgegangen werden kann. Deshalb sollte ein seed gesetzt werden können, damit immer dieselben Agenten unterwegs sind. Sie hätten stets die gleiche Startzeit und Wunschgeschwindigkeit.
- Beim Erzeugen der Agenten können die einzelnen Agentengruppen tabellarisch angeschaut werden. Der Programmbenutzer hat aber keinen Zugriff auf diese Tabellen. Wird zum Beispiel eine Strecke von A nach B erzeugt, welche von 10 Agenten benutzt werden soll, muss immer der ganze Streckenzug neu erstellt werden, wenn

der Benutzer merkt, dass eine Eingabe falsch war. Hätte er Zugriff auf die Tabelle, könnte er manuell eingeben, dass er nun 20 Agenten braucht.

- Für statistische Auswertungen ist es wichtig für jeden Agenten die Geschwindigkeit und den Ort zu jedem Zeitpunkt der Simulation zu kennen. Das kann in SimWalk nur graphisch dargestellt werden. Bei der Simulation sollte zur Wahl stehen, ob die Geschwindigkeit und die Position jedes Agenten zu jedem Zeitschritt für spätere Auswertungen gespeichert werden soll.
- Für Outputanalysen bietet SimWalk selber nur wenig an. Es besteht aber die Möglichkeit die Daten zu exportieren und selber weiter zu analysieren. Sinnvoll wäre es, wenn weitere Analysen in SimWalk direkt gemacht werden könnten. Zum Beispiel über mehrere Simulationen eine mittlere Evakuationszeit mit Konfidenzintervall zu berechnen.

7 ShopSim

7.1 Überblick

ShopSim (vergleiche Savannah Simulations AG (2005a) und Savannah Simulations AG (n.d.)) ist eine agentenbasierte Software der Firma Savannah Simulations AG (www.savannah-simulations.ch). Mit ShopSim können Einkaufszentren nachgebildet und das Kundenverhalten in den Zentren simuliert werden. Die Software ist, nach Angabe von Savannah Simulations AG, noch nicht so weit entwickelt, dass sie bereits einen grossen kommerziellen Nutzen hat.

ShopSim richtet sich vor allem an Einkaufszentrumsmanager. In ShopSim gibt es zwei Möglichkeiten um Simulationen durchzuführen.

Es können Umfragen, die in einem bestehenden Einkaufszentrum gemacht wurden, nachgespielt werden. Dadurch können die Umfragedaten verdichtet und visualisiert werden. Um eine Umfrage nachzuspielen müssen die einzelnen Fragebogen eingegeben werden. Alter, Geschlecht, Eingang, besuchte Geschäfte und welche Besuche davon geplant waren, sind mögliche Inputs. Ziel ist es dabei Geschäftsbesuchszahlen (pro Geschäft, aufgeschlüsselt in Besuchsarten sowie Kopplungszahlen), Kundenstromverteilung, Weglängen und Stationsausgänge pro Kundenlauf zu ermitteln. Vergleiche Hesse (2002).

Als zweite Möglichkeit kann der Programm benutzer das Kundenverhalten in neuen oder veränderten Zentren simulieren, dies um die optimale Geschäftsanordnung zu finden. Damit können bei gleichbleibender Kundenzahl die Ergebnisse aus der Umfrage mit den Simulationen verglichen werden. Die Frage, ob bei einer Neuordnung eine Umsatzsteigerung zu erwarten ist, kann dadurch beantwortet werden.

Bei beiden Simulationsarten können drei Kundenklassen unterschieden werden. Kunden, die mit einem oder mehreren bestimmten Zielen ein Zentrum betreten und die nur Geschäfte besuchen, das Ziel zu erreichen, werden Zielkäufer genannt. Besuchen Käufer neben ihren geplanten Geschäften noch spontan weitere Geschäfte, werden sie als Erlebniskäufer eingestuft. Die dritte Klasse heisst Impulskäufer. Das sind Käufer, welche ein Einkaufszentrum ohne ein bestimmtes Ziel betreten und sich je nach Motivation in ein Geschäft begeben.

Kundenklasse	Anzahl spontaner Besuche	Anzahl geplanter Besuche
Zielkäufer	0	≥ 1
Erlebniskäufer	≥ 1	≥ 1
Impulskäufer	≥ 0	0

Tabelle 3: Die Kundenklassen unterscheiden sich in der Anzahl spontaner und geplanter Besuche.

Diese Klassifizierung ist für die weitere Betrachtung wichtig, weil die drei Kundenklassen verschiedene Verhaltensmuster zeigen und bei ihnen nicht alle Eigenschaften gleich ausgeprägt sein müssen. Zudem muss aus den gleichen Gründen bei der weiteren Betrachtung, zwischen den Simulationsarten unterschieden werden.

7.2 Strategisches Verhalten in ShopSim

Möchte der Programm benutzer eine Umfrage nachspielen, wird er den Agenten alle strategischen Entscheide abnehmen, indem er die Daten jeder befragten Person ins Programm eingibt. Dadurch sind alle Aktivitäten geplant und der Agent wird davon nicht abweichen. Dem Agenten fehlt es an Autonomie, so dass er kein strategisches Verhalten zeigen kann. Das ist beim Nachspielen einer Umfrage der richtige Ansatz. Zeigten Agenten Autonomie,

verfälschte dies die Umfrage. Die Resultate aus der Simulation wären für die Interpretation der Umfrage wertlos.

Soll das Kundenverhalten in neuen oder veränderten Einkaufszentren simuliert werden, gibt es ein strategisches Level. Zielkäufer und Erlebniskäufer sind hier nicht zu unterscheiden. Beide haben das Ziel mindestens ein geplantes Geschäft zu besuchen. Die Agenten besitzen die Autonomie Geschäftsbesuche auf ihre Aktivitätenliste zu nehmen.

Proaktiv handeln die Agenten indem sie vorausplanen und dadurch die Geschäfte, die sie besuchen möchten um ihre Bedürfnisse zu stillen, in ihre Liste aufnehmen. Der Agent kann dafür auf seinen internen Zustand zurückgreifen, der mit Informationen über das Einkaufszentrum ausgestattet ist. Das kann als Grunderfahrung aufgefasst werden.

Der Spontankäufer hat kein strategisches Verhalten. Sein Ziel ist es ins Einkaufszentrum zu gehen und sich durch Reize von aussen leiten zu lassen.

7.3 Taktisches Verhalten in ShopSim

Wenn eine Umfrage nachgebildet wird, fehlt das taktische Verhalten beinahe vollständig. Der Programmbenutzer übernimmt auch den grössten Teil dieser Entscheidungsebene für den Agenten. Die Zielorte werden genau spezifiziert. Das heisst, der Agent weiss in welchem Kleidergeschäft er sein Hemd kaufen wird, da es sein menschliches Vorbild genau dort gekauft hat. Einzig die Routenwahl bleibt noch im Entscheidungsbereich des Agenten. Der Agent wird sich für den kürzesten Weg entscheiden. Der Agent zeigt somit ein minimales Mass an Autonomie und Rationalität.

Wird eine Simulation ohne Umfrage gemacht, muss wieder zwischen den Kundengruppen unterschieden werden. Der Zielkäufer und der Erlebniskäufer planen ihre Aktivitäten so, dass sie den kürzesten Weg für die ganze Route bestimmen. Der Agent ist in dieser Beziehung autonom und proaktiv. Auch bei der Wahl des Zielortes ist der Agent autonom. Er entscheidet, in welchem Geschäft er das Hemd kaufen möchte. Bei der Wahl der Route gilt das gleiche, wie bei einer Umfrage. Vor dem Betreten des Einkaufszentrums unterscheiden sich Ziel- und Erlebniskäufer nicht. Sind Agenten im Zentrum, werden Geschäfte, die in ihr Blickfeld gelangen im internen Zustand gespeichert. Damit erhöht sich die Erfahrung der Agenten. Agenten in ShopSim verfügen damit über intelligentes Verhalten. Für jedes Geschäft, das im Blickfeld des Agenten auftaucht, wird geprüft, ob die Motivation (siehe Kapitel 7.5) genügt um dieses Geschäft zu betreten. Ist die Motivation gross genug, wird das Geschäft umgehend besucht. Für den Agenten hat sich durch die Wahrnehmung eines neuen Geschäftes seine Umwelt verändert. Da er darauf reagiert, indem er eventuell ein neues Geschäft besucht, zeigt der Agent reaktives Verhalten. Um eine realistische Simulation zu erhalten ist diese Eigenschaft in ShopSim unerlässlich. Diese Eigenschaft hilft beim Abbilden von Reizen, denen ein Kunde ausgesetzt ist und denen er manchmal auch erliegt. Kann ein Agent allen Reizen widerstehen und verlässt er das Einkaufszentrum ohne einen spontanen Besuch, bleibt er ein Zielkäufer. Kunden, die mindestens einen spontanen Besuch machen, werden zu Erlebniskäufer. Beide Kundenklassen zeigen reaktives Verhalten, weil auch ein Zielkäufer bei jedem Geschäft, der neu in sein Blickfeld kommt, prüfen muss, ob seine Motivation gross genug ist das Geschäft zu besuchen. Ein Zielkäufer kann jederzeit zu einem Erlebniskäufer werden.

Spontankäufer haben keine Liste mit Zielen. Sie gehen im Einkaufszentrum herum und prüfen bei jedem Geschäft, das sie antreffen, ob die Motivation gross genug ist um es zu betreten. Autonomie und Reaktivität sind bei einem Spontankäufer ausgeprägt. Das intelligente Verhalten ist das gleiche wie bei den anderen Käufern. Neue Geschäfte werden gespeichert. Über Rationalität lässt sich nicht urteilen, weil die Agenten ohne Ziel unterwegs sind und sich nur durch Reize leiten lassen. Was einem Spontankäufer fehlt, ist die Proaktivität, er kann nicht vorausdenkend planen. Das liegt nicht in der Natur eines Spontankäufers.

7.4 Operatives Verhalten in ShopSim

Beim operativen Verhalten müssen zwei Teile unterschieden werden. Der erste Teil ist die Bewegung im Einkaufszentrum, der zweite Teil ist der Aufenthalt in einem Geschäft.

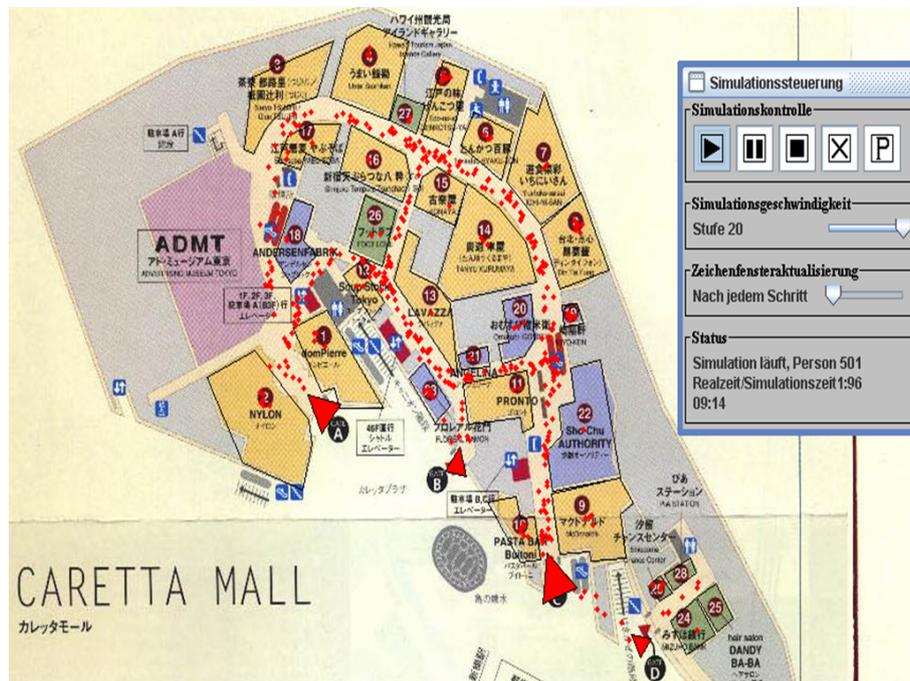


Abbildung 10: Screenshot aus ShopSim: Visualisierung einer Umfrage in ShopSim.

Die Bewegung in ShopSim ist relativ einfach aufgebaut. Vom Programmbenutzer wird die Schrittweite eingegeben, ShopSim verbindet die Zielpunkte miteinander, indem es Wegpunkte im Abstand der Schrittweite setzt. Ist die Distanz zwischen zwei Punkten kein Vielfaches der Schrittweite, wird nur ein Abstand nicht der Schrittweite entsprechen. Diese Wegpunkte heissen Referenzpunkte. Die Berechnungen basieren auf diesen Punkten. Die tatsächliche, im Programm visualisierte Position weicht zufallsbedingt vom Referenzpunkt ab. Diese Abweichung hat einen maximalen Wert, damit der Agent nicht durch Wände gehen kann oder das System verlässt.

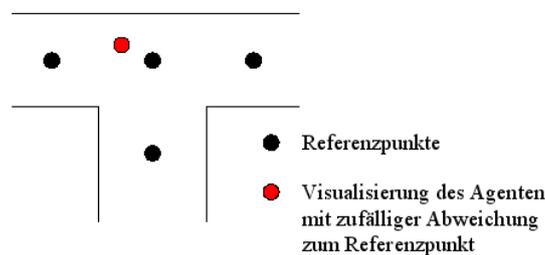


Abbildung 11: Die visualisierte Position in ShopSim weicht um einen zufälligen Wert vom Referenzpunkt ab.

In ShopSim können sich die Agenten nicht vollständig autonom bewegen. Der Agent macht zwar seinen nächsten Schritt ohne Einfluss vom Programmbenutzer, aber sowohl die Schrittweite als auch die Geschwindigkeit werden vom Programmbenutzer vorgegeben. Diese beiden Größen sind konstant.

Agenten haben keine soziale Fähigkeit. In ShopSim wissen die Agenten nichts von der Existenz der anderen. Sie können also untereinander weder kommunizieren noch kooperieren. Das Fehlen der sozialen Fähigkeit und die mangelnde Autonomie bringen einige Konsequenzen mit sich, die so weit gehen, dass ein Agent in ShopSim, trotz seiner Fähigkeit Mobilität, nicht als Fussgänger bezeichnet werden kann. Agenten in ShopSim kümmern sich nicht darum, ob ihnen ein Agent entgegenkommt, sie müssen diesem nicht ausweichen. Zu einem bestimmten Zeitpunkt können mehrere Agenten auf demselben Referenzpunkt stehen. Durch die zufälligen Abweichungen vom Referenzpunkt sieht es in der Visualisierung so aus, als würden die Agenten nebeneinander stehen. Theoretisch befinden sie sich aber an derselben Stelle. Aufgrund dieser Tatsache müssen die Agenten kein reaktives Verhalten zeigen. Dazu kommt, dass die Geschwindigkeit und die Schrittweite konstant sind. Die Bewegung in ShopSim hat eine andere Bedeutung als einen realistischen Fussgänger abzubilden. Sie ist vorhanden um die Agenten Erfahrungen, in Form von Wahrnehmung neuer Geschäfte, machen zu lassen. Weiter ist die Bewegung für die Simulation der Zeit vorhanden, welche ein Agent braucht um von einem Ziel zum anderen zu gelangen. Schliesslich ist auch eine visuelle Darstellung des Einkaufszentrums mit seinen Kunden ein Ziel von ShopSim.

Leider wird in einer ShopSim-Dokumentation Savannah Simulations AG (2005a) darauf verwiesen, dass auch Evakuations- und Sicherheitstests des Einkaufszentrums mit ShopSim simuliert werden können. Mit der momentanen Art der Bewegung ist es ausgeschlossen solche Simulationen durchzuführen. Können nämlich mehrere Personen gleichzeitig an ein und derselben Stelle stehen, wird es nie zu einem Stau kommen. Die Evakuierungszeit würde der Zeit entsprechen, die der Agenten benötigt, um das Zentrum zu verlassen, welcher am weitesten von einem Ausgang entfernt ist. Das entspricht keineswegs einer realistischen Evakuierungszeit. Wenn es weiterhin ein Ziel sein soll, Evakuierungs- und Sicherheitstests mit ShopSim durchzuführen, muss den Agenten mehr Autonomie und soziale Fähigkeiten mit auf den Weg gegeben werden.

Der zweite Aspekt des operativen Verhaltens ist der Aufenthalt in einem Geschäft. Jedem Agenten, der ein Geschäft betritt, wird eine gleichverteilte Zufallszahl zugeordnet, die zwischen einer minimalen und einer maximalen Aufenthaltszeit in einem Geschäft liegt. Der minimale und maximale Aufenthalt kann vom Programm benutzer eingegeben werden. Die so gewählte Aufenthaltszeit für den Agenten in diesem Geschäft wird bei jedem Zeitschritt um eine Zeiteinheit vermindert. Solange die verbleibende Aufenthaltszeit grösser als Null ist, bleibt der Agent im Geschäft. Wieder können die Agenten nicht wahrnehmen, wieviele andere Kunden zur Zeit im Geschäft sind. Ihre Aufenthaltszeit wird dadurch nicht beeinflusst. Um ein realistischeres Verhalten in einem Geschäft simulieren zu können, sollten gewisse Änderungen vorgenommen werden. Die zufällige Aufenthaltszeit in einem Geschäft sollte beibehalten werden. Zusätzlich sollte nach dem Ablauf dieser Zeit ein Kaufentscheid gefällt werden. Ist der Entscheid negativ, verlässt der Kunde das Geschäft. Kauft er etwas, muss er an die Kasse gehen. Hier kann die Wartezeit mit einer Warteschlange modelliert werden. Das fordert wieder die Implementierung der sozialen Fähigkeit.

7.5 Parameter in ShopSim

Verschiedene Parameter können in ShopSim eingestellt werden. In den vorangegangenen Kapiteln wurde zum Teil bereits auf einige Parameter eingegangen. In diesem Kapitel folgt eine Übersicht über alle Parameter in ShopSim.

- Der **Sichtfeldradius** gibt in Grad an, wie gross das Sichtfeld jedes Agenten ist. Dieser Parameter beeinflusst die Wahrnehmung des Agenten. Je grösser der Radius ist, desto schneller wird die Erfahrung des Agenten anwachsen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein weiteres Geschäft auf die Liste der Ziele kommt, steigt bei einem grösseren

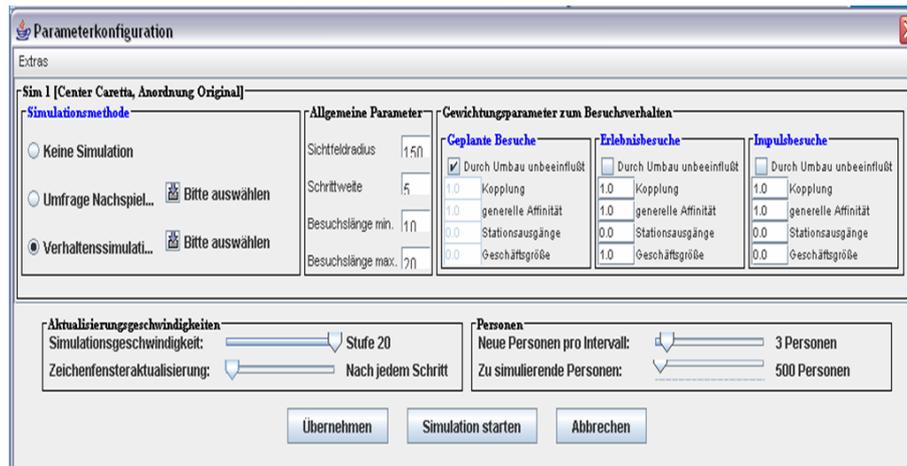


Abbildung 12: Screenshot aus ShopSim: Die einzelnen Parameter können hier angepasst werden.

Blickfeld. Das taktische Verhalten wird durch diesen Parameter beeinflusst.

- Jeder Simulationsschritt entspricht der Zeit, welche von einem Agenten benötigt wird um einen Schritt zu machen. Die **Schrittweite** kann in ShopSim in Pixel eingestellt werden. Das sollte in Meter oder Zentimeter geändert werden, damit die Schrittweite für den Programmbenutzer vorstellbar wird. Durch die fixe Schrittweite wird dem Agenten viel von seiner Autonomie genommen. Da die Agenten die Schrittweite nicht anpassen können, wird die Eigenschaft Reaktivität in der Bewegung eingeschränkt.
- In ShopSim kann eine minimale und eine maximale Besuchsdauer in einem Geschäft eingestellt werden. Die tatsächliche Aufenthaltszeit liegt gleichverteilt in diesem Intervall. Wie in Kapitel 7.4 erwähnt, empfehlen sich hier Erweiterungen um ein realistischeres Verhalten in einem Geschäft zu erhalten. Die Aufenthaltszeit in einem Geschäft sollte nicht unabhängig von der Anzahl der Kunden im Geschäft sein. Für die Kasse sollte eine Warteschlange modelliert werden. Den Agenten müssten soziale Fähigkeiten gegeben werden, damit sie untereinander kommunizieren und kooperieren können.

Die Anzahl Personen im Einkaufszentrum hängt von zwei Parametern ab.

- Die Anzahl Personen, welche pro Simulationsschritt das Einkaufszentrum betreten, kann eingegeben werden. Der Zeitpunkt, zu welchem ein Agent das Zentrum betritt, ist nicht vorgegeben, deshalb kann von Autonomie gesprochen werden. Der Agent bestimmt auf eine gewisse Weise selber, wann er das Zentrum betreten will. Es empfiehlt sich die Einheit dieses Parameters auf Anzahl Kunden pro Zeit, z.B pro Minute zu wechseln.
- Weiter kann die totale Anzahl der zu simulierenden Personen eingegeben werden.

Die oben erwähnten Parameter können vom Programmbenutzer unabhängig von der Simulationsart eingestellt werden. Die weiteren Parameter beziehen sich auf eine Verhaltenssimulation, bei der zwischen Zielkäufer, Erlebniskäufer und Impulskäufer unterschieden wird. Die Besuchswahrscheinlichkeit eines Geschäfts wird durch eine Kombination der unten aufgeführten Faktoren berechnet:

- **Kopplungswahrscheinlichkeit:** Einzelne Geschäfte können untereinander gekoppelt sein. Das heisst, manche Geschäfte werden eher besucht, wenn bereits ein bestimmtes anderes Geschäft besucht wurde. Besucht ein Kunde ein Kleidergeschäft,

ist es wahrscheinlich, dass er auch ein weiteres Kleidergeschäft besucht, vor allem wenn es in der Nähe des ersten liegt. Umgekehrt ist es weniger wahrscheinlich, dass ein Kunde ein Restaurant besucht, wenn er bereits in einem war.

- **Generelle Affinität:** Ein Kunde mit bestimmten Eigenschaften wird ein bestimmtes Geschäft eher besuchen als eines, welches seinen Typ nicht anspricht. Die Kundeneigenschaften können zum Beispiel das Alter, das Geschlecht, der Beruf usw. sein.
- **Stationsausgangswahrscheinlichkeit:** Einen Einfluss auf die Besuchswahrscheinlichkeit eines Geschäftes kann auch die Anzahl bereits besuchter Geschäfte haben.
- **Grösse des Geschäftes:** Ein Geschäft, welches bei einem Umzug oder Umbau eine grössere Ladenfläche bekommt, hat vermutlich in der neuen Situation eine grössere Besucherzahl.

Die Parameter rechts in Abbildung 12 sind Gewichte, die oben erwähnten Faktoren beeinflussen. Die Parameter liegen zwischen 0 und 1. Je nach Grösse wird den einzelnen Faktoren mehr oder weniger Gewicht gegeben. Ob der Kunde schliesslich in das Geschäft geht oder nicht, hängt von seiner Motivation ab. Steht der Agent vor der Entscheidung ein Geschäft zu betreten, wird eine Zufallszahl generiert. Ist die errechnete Besuchswahrscheinlichkeit höher als diese Zufallszahl, betritt der Agent das Geschäft. Seine Motivation war genügend gross.

Der taktische Entscheid ein Geschäft zu betreten, hängt von den Gewichten ab, welche die Besuchswahrscheinlichkeit beeinflussen.

7.6 Vorschläge zur Programmentwicklung

- Zur Zeit muss in ShopSim die bauliche Struktur in einer Access-Datenbank eingegeben werden. Das ist mühsam und mit zunehmender Komplexität des Einkaufszentrums unübersichtlich und aufwendig. Für ShopSim wäre es ein Vorteil, wenn die bauliche Struktur mittels eines CAD-Programmes gemacht werden könnte. Entweder in ShopSim selber oder in einem externen Programm mit der Möglichkeit den Plan in ShopSim importieren zu können.
- Umfragen und die Geschäfte müssen auch in einer Access-Datenbank eingegeben werden. Es empfiehlt sich, dass alle Eingaben in ShopSim direkt gemacht werden können. Dadurch wird ShopSim benutzerfreundlicher.
- Die Schrittweite in ShopSim wird in Bildschirmpixel eingegeben. Darunter kann sich ein Programmbenutzer nur wenig vorstellen. Der Schrittweite sollte unbedingt eine sinnvolle Einheit wie Meter gegeben werden. Sind bei einem bestimmten Massstab des Grundrisses 10 Pixel ein gutes Mass für eine Schrittweite, wird die Schrittweite bei einer Vergrösserung des Masstabes entsprechend kleiner. Selbstverständlich sollte sie konstant bleiben.
- Ist ein Agent in einem Geschäft, hängt seine Aufenthaltszeit nur von einer gleichverteilten Zufallszahl ab. Wenn der Agent nichts kaufen möchte, sollte seine Aufenthaltszeit auch weiterhin nur von einer Zufallszahl abhängig sein. Eventuell empfiehlt sich aber eine andere Verteilung als die Gleichverteilung. Zum Beispiel die Normalverteilung oder die Exponentialverteilung. Möchte der Agent etwas in dem Geschäft kaufen, muss er vielleicht an der Kasse anstehen. Dieses Verhalten sollte mittels einer Warteschlange modelliert werden.

- Evakuierungssimulationen sind wie bereits erwähnt mit ShopSim nicht möglich. Das sollte unbedingt auch so kommuniziert werden. Sollen mit SimWalk Evakuationsimulationen möglich sein, müssen verschiedene Punkte beachtet werden. Mehrere Agenten dürfen nicht zur selben Zeit am selben Ort stehen. Eine Implementierung eines Potentialfeldes wie in SimWalk wäre denkbar. Das macht aber erst Sinn, wenn das Potentialfeld nicht nur den Weg zwischen zwei Punkten, sondern einen ganzen Streckenzug optimieren kann. Weiter muss den Agenten eine soziale Fähigkeit gegeben werden. Sie müssen einander wahrnehmen und miteinander kommunizieren können. Nur so werden die Agenten einander ausweichen können.

8 Vergleich zwischen SimWalk und ShopSim

8.1 Allgemeines

Ein Vergleich der beiden Programme ist insofern schwierig, als dass die beiden Programme ein anderes Zielpublikum haben. Deshalb ist dieser Vergleich auch relativ kurz gehalten und beschränkt sich in den folgenden Abschnitten auf die drei Entscheidungsebenen. Trotz dem unterschiedlichen Zielpublikum können die beiden Programme voneinander profitieren, wenn sie entsprechend erweitert werden.

8.2 Strategisches Verhalten

In SimWalk werden alle Aktivitäten vom Programm benutzer festgelegt. Das entspricht in ShopSim dem Nachspielen einer Umfrage. Der Unterschied der beiden Programme liegt darin, dass in SimWalk bei Verhaltenssimulationen die Agenten ihre Aktivitäten selber auswählen, je nach Bedürfnis. Für beide Programme wurde der richtige Ansatz gewählt.

8.3 Taktisches Verhalten

Wenn in SimWalk nur ein Zielort angegeben wird um eine bestimmte Aktivität auszuführen, entspricht dies wieder dem Nachspielen einer Umfrage in ShopSim. Die Reihenfolge, mit der die Agenten ihre Ziele aufsuchen, ist so bei beiden Programmen gegeben. Gibt es in SimWalk mehrere Zielorte mit der eine bestimmte Aktivität ausgeführt werden kann, bestimmt der Agent selber welchen Ort er aufsuchen möchte. Er wird denjenigen wählen, der ihm zu diesem Zeitpunkt am nächsten ist. Dabei nimmt er eine nicht nutzenmaximale Gesamtstrecke in Kauf. Agenten in ShopSim planen ihre Route so, dass sie Nutzenmaximal wird. Es soll hier noch einmal darauf hingewiesen werden, dass in SimWalk unbedingt ein Verfahren implementiert werden soll, mit dem eine optimale Gesamtstrecke geplant werden kann und nicht nur die jeweils optimale Verbindung zwischen zwei Wegpunkten.

8.4 Operatives Verhalten

Die beiden Bewegungskonzepte in den Programmen sind sich dann sehr ähnlich, wenn in SimWalk jeder Agent immer einen ganzen Schritt ausführen kann. Dann wird sich jeder Agent mit seiner Wunschgeschwindigkeit den kürzesten Weg zum nächsten Ziel suchen. In ShopSim geschieht eigentlich das Gleiche. Im Gegensatz zu SimWalk hat aber jeder Agent die gleiche Geschwindigkeit. Durch die Implementierung des Wegnetzes ist das gegeben. Diese Einschränkung ist bedauerlich, da in ShopSim zwischen verschiedenen Agententypen mit verschiedenen Merkmalen ausgewählt werden kann. Ausgerechnet eine individuelle Geschwindigkeit fehlt ihnen. In SimWalk hingegen sind alle Agenten vom selben Typ, besitzen aber eine individuelle Geschwindigkeit.

Stossen Agenten in SimWalk auf Hindernisse werden sie diese wahrnehmen und versuchen auszuweichen. Das ist ein grosser Unterschied zu ShopSim, wo alle möglichen Hindernisse ignoriert werden. Es wird deshalb, wie bereits erwähnt, vom Wegnetz abgeraten.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Der Schwerpunkt in ShopSim liegt in der Analyse, wie verschiedene Geschäftsanordnungen das Verhalten der Käufer beeinflussen. Die Agenten in ShopSim sind fähig sich Geschäfte, an denen sie vorbeikommen, zu merken und jeweils zu prüfen, ob sie ein Geschäft in ihrem Blickfeld besuchen möchten. Das Verhalten eines Agenten innerhalb eines Geschäftes sollte unbedingt ausgebaut werden. Bei der Untersuchung von ShopSim hat sich gezeigt, dass das Programm nicht unbedingt als Fussgängersimulationsprogramm bezeichnet werden kann. Dafür ist die Bewegung der Fussgänger zu einfach gehalten. Deshalb sollte auch die Bewegung der Fussgänger realistischer werden. Ohne Erweiterungen der Bewegungsverhaltens, können keine realistischen Evakuationen simuliert werden. Das muss auch so kommuniziert werden. ShopSim überzeugt in der Darstellung der Ergebnisse und der Tatsache, dass verschiedene Agententypen vorhanden sind. Zur Zeit kann ShopSim noch nicht kommerziell genutzt werden. Um das Programm einsatzfähig zu machen sollte es weiterentwickelt werden. Einige Vorschläge wurden in dieser Arbeit bereits gemacht.

SimWalk wurde im Rahmen dieser Arbeit genauer betrachtet als ShopSim, da das Programm in der Diplomarbeit des Autors eingesetzt werden soll. In SimWalk ist die Agentenbewegung das Wichtigste um Fragen nach Engpässen oder Evakuationszeiten in einem Bauwerk zu beantworten. Mit SimWalk sind bereits gute Simulationen möglich, um Engpässe in einem System aufzuzeigen. Auch Evakuationen sind möglich. Durch die Untersuchungen in dieser Arbeit sind einige Punkte aufgefallen, die verbessert werden können um mit SimWalk noch realistischere Simulationen machen zu können. Der Zufall spielt bis anhin noch eine zu kleine Rolle. Empfohlen wird deshalb vor allem, eine zufallsbedingte Wartezeit und dass die Gleichverteilungsannahme in der Wunschgeschwindigkeit und der Startzeit durch geeignetere Verteilungsannahmen ersetzt werden. Um mit den Simulationen statistische Auswertungen machen zu können, sollte die Möglichkeit bestehen zu jedem Zeitpunkt die Geschwindigkeit und die Position von allen Agenten zu speichern. Ebenfalls als wichtig einzustufen, ist die Implementierung eines seeds, um Sensitivitätsanalysen durchzuführen. Weiter wurden Vorschläge gemacht, die das Programm benutzerfreundlicher machen könnten.

Wie erwähnt, soll SimWalk eingesetzt werden um das Stadttor im Bahnhof Winterthur zu simulieren. Nach der Diplomarbeit können der Savannah Simulations AG sicher noch weitere Vorschläge gemacht werden, um das Programm weiter zu optimieren. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass das Projekt im Bahnhof Winterthur mit SimWalk angegangen werden kann. Erfreulich wäre es, wenn die Programmentwicklung bis dahin weiter gekommen ist, damit die Erneuerungen gerade in der Diplomarbeit getestet werden können.

Literatur

- Daamen, W.: 2004, *Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities*, PhD thesis, Delft University of Technology.
- Helbing, D. and Molnár, P.: 1995, Social force model for pedestrian dynamics, *Physical Review E* **vol. 51**(no.5), pp 4282–4286.
- Hesse, R.: 2002, *Agentensysteme in der geographischen handelsforschung*, Master's thesis, Technische Universität München.
- Jennings, M. W. . N. R.: 1995, Intelligent agents: theory and practice, *The Knowledge Engineering Review* **vol. 10**(no.2), pp 115–152.
- Mauron, L.: 2002, *Pedestrians simulation methods*, Master's thesis, ETH Zürich.
URL: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=diplnr=136>
- Molnár, P.: 1995, *Modellierung und Simulation der Dynamik von Fussgängerströmen*, PhD thesis, Universität Stuttgart.
- Savannah Simulations AG: 2005a, *SHOPSIM Documentation*, Savannah Simulations AG.
- Savannah Simulations AG: 2005b, *SimWalk User Guide*, Savannah Simulations AG.
- Savannah Simulations AG: n.d., *ShopSim User Manual*, Savannah Simulations AG.
- Stucki, P.: 2003, *Obstacles in pedestrian simulations*, Master's thesis, ETH Zürich.
- Urban, C.: 2004, *Das Referenzmodell PECS Agentenbasierte Modellierung menschlichen Handelns, Entscheidens und Verhalten*, PhD thesis, Universität Passau.

Tabellenverzeichnis

1	Die Wichtigkeit der Agenteneigenschaften	8
2	Vergleich des Sozialen Kräfte Modells mit der Implementierung in SimWalk	19
3	Die Kundenklassen unterscheiden sich in der Anzahl spontaner und geplanter Besuche.	26

Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht der 3 Levels: strategisch, taktisch, operativ.	7
2	Potentialfeld	13
3	Eingabe der Route	13
4	Parameter eingabe in SimWalk	15
5	Einwirkende Kräfte auf einen Agenten	18
6	Potentialfeld ohne Wände	20
7	Potentialfeld ohne Wände mit 2 Zielpunkten	20
8	Potentialfeld mit Wand	21
9	Ablaufschema der Bewegung in SimWalk	23
10	Visualisierung einer Umfrage in ShopSim.	28
11	Visualisierte Positione eines Agenten.	28
12	Parameter eingabe in ShopSim.	30

Danksagungen

Allen Personen, die mich während dieser Arbeit unterstützt haben, möchte ich herzlich danken.

Meinen beiden Betreuern Herrn Jürg Hosang und Herrn Albert Steiner für die Zeit die sie meiner Arbeit geopfert haben und die konstruktiven Diskussionen an den gemeinsamen Sitzungen.

Herrn Alex Schmid von der Savannah Simulations AG dafür, dass er mir die Chance gab diese Arbeit in Angriff zu nehmen.

Herrn Pascal Stucki, dem Entwickler von SimWalk und Herrn Roland Hesse, dem Entwickler von ShopSim für die Geduld bei der Beantwortung all meiner Fragen.

Sie alle haben mir bei meiner Arbeit sehr geholfen und ich freue mich auf eine weitere Zusammenarbeit bei der Diplomarbeit.

Erklärung

“Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde, ausgenommen an Personen, die mir wesentliche Informationen für die Projektarbeit zur Verfügung gestellt oder die das Thema der Arbeit angeregt haben.”

Winterthur, 7. Juli 2006

.....