



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

Ausarbeitung Anwendungen 2 -  
SoSe 2011  
Christian Thiel  
Crowd Simulation - State-of-the-Art

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung - WALK</b>	<b>3</b>
1.1 Emotional GOAP . . . . .	3
1.2 Vielfältige Einsatzgebiete . . . . .	3
1.3 Inhalt dieser Arbeit . . . . .	4
<b>2 Vergleichbare Arbeiten</b>	<b>4</b>
2.1 Klassifikation . . . . .	4
2.2 Flussgesteuerte Simulationen . . . . .	6
2.2.1 Wegfindung . . . . .	6
2.2.2 Ergebnisse . . . . .	7
2.2.3 Bewertung . . . . .	7
2.3 Situated Cellular Agents . . . . .	7
2.3.1 Funktionsweise . . . . .	7
2.3.2 Beispiel . . . . .	8
2.3.3 Bewertung . . . . .	9
2.4 Agentensysteme . . . . .	9
2.4.1 Reactive Behavior Control . . . . .	9
2.4.2 Bewertung . . . . .	11
<b>3 Fazit und Ausblick</b>	<b>11</b>
3.1 Zusammenfassung . . . . .	11
3.2 Ausblick . . . . .	12
<b>Literatur</b>	<b>13</b>

## 1 Einführung - WALK

Im Rahmen des WALK-Projektes[TTC11] der HAW Hamburg soll ein Werkzeug entstehen, mit dessen Hilfe es möglich ist, Evakuierungsszenarien oder Massenpaniken in einer festgelegten Umgebung durchzuführen und danach mit analytischen Mitteln zu bewerten. Das Werkzeug soll zwei Hauptaufgaben erfüllen.

### 1.1 Emotional GOAP

Zum Einen soll das Tool eine möglichst authentische Simulation des menschlichen Verhaltens durchführen können. Dafür werden die einzelnen Personen in der Simulation als Agenten modelliert, welche sich autonom und basierend auf eigenen Entscheidungen in der gegebenen Umwelt bewegen können.

Für die Entscheidungsfindung bedienen sich die Agenten dem GOAP-Modell [Jef] des zielorientierten Handelns. Dieses, dem STRIPS-Algorithmus ähnliche, Verfahren ermöglicht es dem Agenten durch das Aufspannen eines Entscheidungsbaumes eine Reihe von elementaren Aktionen zu finden, welche ihn von seinem aktuellen Zustand zu einem selbst definierten Zielzustand führen.

Unterstützt wird das GOAP-System hierbei von einer Reihe von Emotionen. Diese bewerten dynamisch anhand von Faktoren die Gewichtung von Zielen und Aktionen und können so beeinflussen, welches Ziel der Agent gerade verfolgt und mit welchen Aktionen er versucht, dies zu erreichen.

Dieses System wurde bereits prototypisch von Arne Klingenberg in seiner Bachelorarbeit implementiert [Kli09] und wird nun den konkreten Bedürfnissen des WALK-Tools angepasst.

### 1.2 Vielfältige Einsatzgebiete

Das zweite Hauptziel des WALK-Tools ist dessen vielfältige Einsetzbarkeit. Es soll möglich sein, diverse Szenarien und Umgebungen (mehrstöckige Gebäude, offene Gelände, etc.) auf einfache Art und Weise einzubinden, auf ihnen Personen bzw. Agenten zu platzieren und das Szenario mit Hilfe von Ereignissen zu gestalten (z.B. einstürzende Wände, Feuerausbruch, Erscheinen neuer Personen). Das WALK-Projekt beschäftigt sich nicht mit einem konkreten Evakuierungsszenario, sondern versucht, eine generische Plattform zu erstellen. Mit dieser soll die Durchführung diverser Szenarien möglich sein, ohne dass eine aufwändige Modellierung und Konfiguration nötig ist.

Das Ziel der austauschbaren Umgebungen soll mit Hilfe eines 3D-Geoinformationssystems realisiert werden. In diesem werden sämtliche Informationen zu Gebäuden (Stockwerke, Türen, Wände etc.) gespeichert und zusammen mit dynamischen Umwelteinflüssen (wie z.B. Feuersbrünste, Rauch- und Wasserausbreitungen) als Informationslayer abrufbar gemacht [Bal11].

### 1.3 Inhalt dieser Arbeit

Natürlich ist das WALK-Projekt nicht das erste Projekt, welches sich mit dem großen Thema *Crowd Simulation* beschäftigt. Diese Arbeit soll nun einen Überblick verschaffen, wie andere Forschungsgruppen sich diesem Thema angenähert haben. Dabei werden nicht nur Ansätze beschrieben, die auf einem Agentensystem basieren. Es wird auch der Blick über den Teller- rand gewagt und beleuchtet, welche anderen grundlegenden Modellierungsweisen untersucht wurden, um Fußgängerströme zu simulieren.

## 2 Vergleichbare Arbeiten

Die Simulation von Menschenmassen ist nicht nur für Gebäudearchitekten und Rettungs- bzw. Ordnungskräfte interessant. Auch im Bereich der Spieleentwicklung ist mit der steigenden Rechenleistung von Spielekonsolen und -PCs immer authentischeres Verhalten von NPCs<sup>1</sup> möglich.

In Zeiten, wo militärische Konflikte immer mehr besiedelte Regionen verlegt werden oder gar im Häuserkampf enden, beschäftigt sich sogar das Militär mit der Simulation des Verhaltens von Zivilisten im Rahmen von Kampfhandlungen.

Aus dieser Menge an Ansätzen sind mehrere vollständige Simulationssysteme entstanden, sowohl akademischer als auch kommerziellem Ursprungs.

### 2.1 Klassifikation

Um diese Systeme zu beschreiben und zu bewerten, ist es sinnvoll, vorher eine Klassifikation sowohl des zu beschreibenden Problems als auch der gewählten Methode durchzuführen.

Zum einen kann das Problem anhand seiner Größe in drei Gruppen gegliedert werden.

---

<sup>1</sup>Non-Player-Character: computergesteuerte Spielfigur

- In kleinen Simulationen mit bis zu 100 Individuen sollen meist nur einzelne Räume oder kleine Gebäude (Wohnhäuser, Restaurants etc.) simuliert werden. Hier kommt es oft darauf an, dass die konkreten Personen sich sehr realitätsnah verhalten.
- In mittelgroßen Simulationen mit Hunderten bis mehreren tausend Personen (z.B. Bahnhöfe, Hochhäuser, Konzerthallen) stehen die individuellen Bewegungen einzelner Personen nicht an vorderster Stelle, viel mehr kommt es auf die Interaktion von ganzen Personengruppen an.
- In großen Simulationen mit mehreren Zehn- oder gar hunderttausenden von Personen (z.B. Musik-Festivals, Mekka) spielt die individuelle Bewegung von Personen so gut wie keine Rolle mehr. Hauptsächlich werden dort Flussbewegungen innerhalb der Menschenmassen untersucht (Dichteverteilungen, Strömungen etc.).

Bevor nun die einzelnen Modelle und Lösungsansätze konkret betrachtet werden, können diese ebenfalls in vier Gruppen eingeteilt werden.

**Flussbasiert** Bei flussbasierten Systemen werden die einzelnen Personen mit Hilfe von diversen mathematischen Formeln gesteuert. Meist geschieht dies durch verschiedene Felder wie z.B. Potentialfelder, Richtungsfelder und daraus resultierende Geschwindigkeitsfelder. Die Personen selber werden meist als Partikel modelliert, öfters aber auch als Dichtefeld, welches aussagt, wie viele Personen sich in einem Bereich aufhalten.

**Zelluläre Automaten** Bei dieser Modellierung wird die Welt in ein gleichmäßiges Raster aufgeteilt (meist schachbrett- oder wabenförmig). Auf jedem Feld kann sich eine Person befinden oder nicht. Mit Hilfe von einer Übergangsfunktion  $F(S(t), \Delta t) \rightarrow S(t + \Delta t)$  wird der Folgezustand eines Feldes berechnet.

**Situated Cellular Agents** Hier werden zelluläre Automaten mit Agentensystemen kombiniert. Die Welt ist noch immer in ein Raster aufgeteilt, jedoch können bei dieser Methode die Personen bzw. Agenten ihre Übergangsfunktion selbst bestimmen.

**Agentensysteme** Bei einem Multiagentensystem wird jede Person als einzelner Agent modelliert, welcher eigenständig anhand einer individuellen KI entscheidet, was er gerade tun möchte. Meist sind solche Agentensysteme ereignisorientiert aufgebaut, sodass man sie nur schlecht als eine formale Übergangsfunktion beschreiben kann.

Im Folgenden wollen wir uns nun anhand einiger konkreter Beispiele anschauen, inwiefern die Modellierungsarten bestimmte Vor- und Nachteile bei der Anwendung auf die verschiedenen Problemklassen haben.

## 2.2 Flussgesteuerte Simulationen

Wie bereits in Sektion 2.1 beschrieben, beschäftigen sich flussgesteuerte Fußgängersimulationen hauptsächlich damit, wie man diese mit rein mathematischen und formalen Methoden beschreiben und durchführen kann. Dies soll an einem konkreten Beispiel verdeutlicht werden.

Adrien Treulle und Seth Cooper von der Universität Washington haben zusammen mit Zoran Popovic von Electronic Arts das Tool Continuum Crowds[[TCP06](#)] entwickelt. Darin versuchten sie im Kontrast zu bisherigen Versuchen nach dem Agentenkonzept, deren KI drastisch zu vereinfachen, um so die Performanz der Simulation zu steigern.

### 2.2.1 Wegfindung

Sie verlagerten die Bewegung der Personen von komplexen Entscheidungsbäumen hin zu einer Sammlung einfacher mathematischer Formeln. Um einen gewissen Grad an Individualität der Personen zu gewährleisten, wurden die Personen als Partikel dargestellt und nicht als Formel.

Die Bewegung einer Person bzw. ihre Position im nächsten Simulationsschritt wird nun mit Hilfe mehrerer zweidimensionaler Werte-Felder berechnet.

Es wird angenommen, dass sich eine Person immer möglichst schnell und effizient von A nach B bewegen möchte. Die Geschwindigkeit, mit der sich eine Person an einer Stelle bewegen kann, hängt ab von der Anzahl der anderen Personen, die sich in der Nähe befinden (Dichtefeld) und der Bodenbeschaffenheit (Steigung). Aus diesen Komponenten wird das Geschwindigkeitsfeld bestimmt. Je höher die Personendichte, desto eher muss man sich der Menge anpassen und desto langsamer geht es vorwärts; je weniger Personen vorhanden sind, desto eher spielt die Steigung eine Rolle.

Zusätzlich dazu gibt es Positionen, die Personen meiden wollen. Das können Hindernisse sein, allerdings z.B. auch Straßen, da Fußgänger eher Zebrastreifen bevorzugen.

Zusammen ergibt sich daraus ein Kostenfeld, welches angibt, wie "teuer" es für eine Person ist, diese Position zu begehen.

Dieses Feld wird nun genutzt, um ein Potentialfeld zu errechnen. Das Ziel besitzt dabei das Potential  $\phi = 0$ . Ausgehend von dort aus, steigt der Wert an, abhängig vom Kostenfeld. Die optimalen Pfade von jedem Punkt zum Ziel werden dabei mit Hilfe des Fast-Marching-Algorithmus[[Set99](#)] berechnet.

Die Personen bzw. Partikel bewegen sich nun immer entlang des Potentialfeldes hin in die Richtung, wo das Potential am geringsten wird.

### 2.2.2 Ergebnisse

Die Forscher beobachteten bei ihren Untersuchungen, dass sich die Personen bei Ausweichbewegungen sehr realitätsnah bewegen. Zwei sich entgegen kommende Gruppen formieren sich durch die Potentialfelder in mehreren Reihen, welche beim Kreuzen aneinander vorbei führen, ohne dass Kollisionen entstehen oder die Personen signifikant mehr Zeit benötigen, um das Ziel zu erreichen.

Dies wurde ebenfalls mit vier Personengruppen getestet, die kreuzartig durcheinander laufen sollten [TCP11], wobei die Personen im Vergleich zu agentenbasierten Simulationen deutlich weniger Zeit und Wegstrecke benötigen und eine Art Kreisverkehr bilden, um durch die hochbevölkerten Bereiche zu gelangen.

### 2.2.3 Bewertung

Die Simulation von Personen auf Basis von Feldern oder anderen Mathematischen Formeln hat den großen Vorteil, dass der Rechenaufwand pro Update und Person sehr gering ist. Im vorgestellten Beispiel wird er mit größerer Menschenmenge sogar immer kleiner. Mit aktueller Hardware und Techniken wie OpenCL ist es sicher möglich, auf einem einzelnen PC mehrere Hunderttausend Personen zu simulieren.

Dieser Vorteil wurde jedoch durch ein deutlich vereinfachtes Modell erkauft. Die Personen besitzen so gut wie keine Individualität mehr und reagieren alle gleich auf äußere Einflüsse. Ebenso beschränkt sich die Simulation nur auf die Wegfindung, nicht aber auf die Entscheidungsfindung, welches Ziel eine Person verfolgen möchte.

## 2.3 Situated Cellular Agents

Ein weiterer Ansatz ist die Verbindung eines zellulären Automaten mit Agenten, welche von der Forschungsgruppe um Stefania Bandini [BFV07] entwickelt wurden.

### 2.3.1 Funktionsweise

Bei Bandini ist die Simulation hauptsächlich definiert, durch eine Menge an Orten, Feldern und Agenten. Orte bezeichnen die alle Positionen, an denen sich ein Agent aufhalten kann, wobei an jedem Ort nur maximal ein Agent zur gleichen Zeit sein darf. Über Felder können die verschiedenen Eigenschaften eines Ortes definiert werden.

Ein Agent ist definiert durch seine Position, seinen Typ und einen Status, welcher vom Typ abhängt. Innerhalb dieses Statuses ist definiert, wie ein Agent auf äußere Einflüsse reagiert. Dabei kann sowohl definiert werden, auf welche Felder ein Agent zu reagieren hat, als auch,

welche Aktionen bei der Wahrnehmung eines Feldes ausgeführt werden sollen. Dafür kann der Agent auf vier elementare Aktionen zurück greifen:

- $emit(f, p)$ : Startet die Aktivierung eines Feldes  $f$  auf Ort  $p$
- $react(s, a_{p1}, a_{p2}, \dots, a_{pn}, s')$ : Erlaubt es, den Status der Agenten  $a_p$  von  $s$  nach  $s'$  zu ändern. Dabei kann jeder Agent  $a_{pn}$  für sich selbst entscheiden, ob er diese Änderung vornehmen möchte.
- $transport(p, q)$  Erlaubt die Bewegung des Agenten vom Ort  $p$  zum Ort  $q$ .
- $trigger(s, f_g, s')$  Der Agent muss seinen Status von  $s$  nach  $s'$  ändern, sobald er das Feld  $f_p$  wahrnimmt.

### 2.3.2 Beispiel

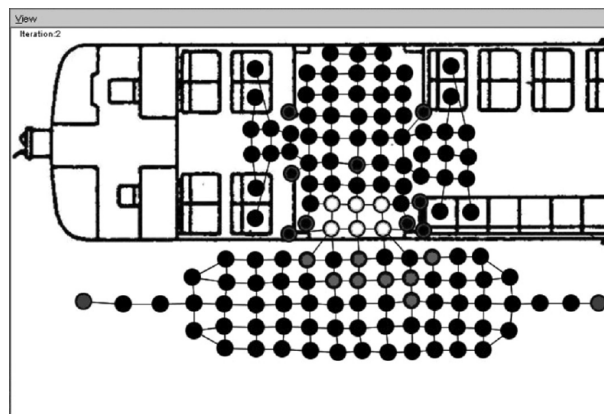


Abbildung 1: Ansicht der Weltmodellierung der Situated Cellular Agents

Als Anwendungsbeispiel hat Bandini eine U-Bahnstation beschrieben (siehe Abbildung 1). Die Orte wurden, wie in der Abbildung zu sehen ist, als Gitternetz aufgespannt. Folgende Felder wurden definiert: *Exit*, *Doors*, *Seats*, *Handles*, *Presence*, *Exit Pressure*. Für den Status des Agenten stehen *waiting*, *passenger*, *get-off*, *seated*, *exiting* (beim verlassen der U-Bahn-Station) zur Auswahl.

Die Funktionsweise soll an ein paar kleinen Beispielen erläutert werden:

- Die U-Bahn-Tür sendet das Feld *Doors* aus und Agenten im Status *seated* bewegen sich zur nächsten Tür.



- Aussteigende Agenten emittieren das Feld *Exit Pressure*, welches außerhalb der U-Bahn wartende Agenten zum zurückweichen bewegt.
- Agenten im Status *exiting* reagieren auf das Feld *Exit* und bewegen sich auf den ort zu, der das Signal aussendet.

### 2.3.3 Bewertung

Die Simulation auf Basis von zellulären Agenten bietet gegenüber den flussgesteuerten Simulationen den Vorteil, dass die einzelnen Personen deutlich individueller beschreibbar sind. Jede Person entscheidet für sich individuell, wie sie auf eine bestimmte Situation reagieren möchte. Dabei ist sie allerdings auf den diskreten Zustandsraum eines zellulären Automaten beschränkt. Das verringert einerseits den Rechenaufwand, da der Agent deutlich weniger Alternativen berücksichtigen und berechnen muss, schränkt ihn in seiner Handlungsfähigkeit jedoch stark ein. Vor allem in Simulationen, die den vorausschauenden Fluss von großen Personmengen untersuchen wollen, stellt sich der zelluläre Automat als Hindernis heraus.

## 2.4 Agentensysteme

Das größte und wahrscheinlich auch vielversprechendste Forschungsgebiet im Bereich der Crowd Simulation ist die Agentensimulation. Hier hat Wei Shao[ST07] bereits gute Fortschritte vorzuweisen.

In seiner Arbeit versucht er in der Pennsylvania Station in New York Fußgängerströme mit Hilfe von Agenten zu simulieren.

In dieser Simulation arbeiten Agenten mit dem für Multiagentensysteme üblichen *Sense -> Reason -> Act*-System [WW01]. Aus einer Wahrnehmung wird über ein Reasoning-System eine Reihe von Aktionen ermittelt, die dann ausgeführt werden.

### 2.4.1 Reactive Behavior Control

Die primäre Entscheidungsfindung basiert auf einer Reihe von fest einprogrammierten Zielen, welche mit Hilfe von einigen internen Variablen in eine Prioritätsreihenfolge gebracht werden. Jeder Agent besitzt ein Hauptziel, welches er versucht zu erfüllen (z.B. essen, trinken, Ticket kaufen). Ist dieses Ziel erfüllt oder wird unerfüllbar, sucht der Agent sich mit Hilfe seiner Zustandsvariablen (z.B. Müdigkeit, Durst, Langeweile) das aktuell wichtigste Ziel heraus und versucht dieses zu erfüllen.

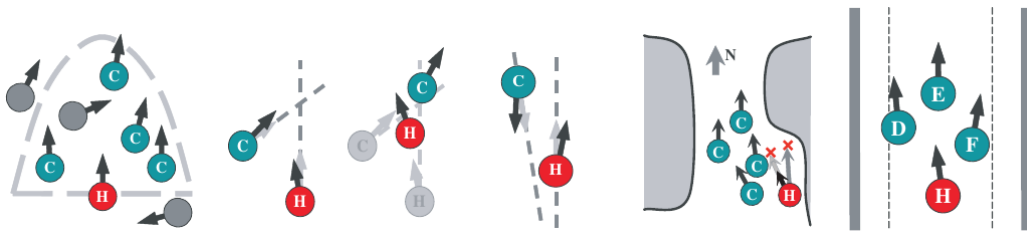


Abbildung 2: Wegfindungsbeispiele [ST07]

Das Besondere bei Shaos Simulation ist allerdings die Art und Weise, wie die motorischen Aktionen tatsächlich umgesetzt werden. Shao hat dazu eine Art Pipeline entwickelt, welche mit sogenannten Ractive Behavior Controls gefüllt ist. Diese haben Zugriff auf den Agenten und seine Ziele und können den Bewegungsvektor, der von der höheren Entscheidungsfindung vorgegeben wird, dynamisch modifizieren, um z.B. Hindernissen auszuweichen. Dafür wurden folgende motorische Fähigkeiten definiert und in die Pipeline eingefügt:

1. Der Agent versucht immer, sich in einer temporären Menschenmenge zu bewegen, welche eine ähnliche Richtung und Geschwindigkeit haben, wie der Agent (Flocking).
2. Der Agent versucht Hindernisse, die vor ihm auftauchen, zu umgehen, indem er seinen Bewegungsvektor nach links oder rechts verändert. Wird die Richtung stark verändert, wird der Agent zudem langsamer.
3. Benötigt der Agent mehrere Schritte, um einem Hindernis auszuweichen, sucht er nach einer optimalen und sicheren Drehgeschwindigkeit, um die Drehung zu vollziehen und passt dabei auch seine Gehgeschwindigkeit an.
4. Entgegen kommenden Agenten wird, abhängig von deren Richtung und Geschwindigkeit, nach links oder rechts ausgewichen.
5. Eine Art Failsafe Routine, welche den Agenten verlangsamt, sollten sich direkt in seinem Weg trotzdem noch andere Agenten befinden.
6. Zuletzt prüft der Agent seine neue Bewegungsrichtung erneut auf Hindernisse im Weg und verringert seine Geschwindigkeit oder startet eine neue Wegfindung in der vorgelagerten Intelligenz des Agenten.

Über diese Pipeline ist es möglich, die konkreten motorischen Impulse aus den höheren Entscheidungsprozessen heraus zu halten. Es wird lediglich eine Richtung bzw. eine Zielposition vorgegeben, die konkrete Ausführung der Bewegung und Vermeidung von Kollisionen wird aus dem Planungsprozess heraus gehalten, was diesen deutlich vereinfacht.

### 2.4.2 Bewertung

Die Modellierung der Personen als Agenten hat den klaren Vorteil, dass jede Person individuell behandelt werden und eine eigene Intelligenz besitzen kann. So sind die Agenten nicht von höheren, verallgemeinerten Algorithmen abhängig und können individuelle Ziele und Pläne verfolgen und so authentischer handeln. Zudem schafft die Reactive-Behavior-Pipeline ein mächtiges Werkzeug, die Agenten realitätsnaher zu bewegen.

Diese Individualisierung der Agenten wirkt sich jedoch negativ auf die Performance des Systems aus. Anstatt, dass der nächste Schritt einer Person mit Hilfe einer einfachen Formel berechnet werden kann und viele Rechenschritte für alle Personen gleich sind, muss nun für jede Person getrennt eine Auswertung von Sensoren und Entscheidungsfindung vorgenommen werden, was deutlich mehr Rechenaufwand erfordert.

## 3 Fazit und Ausblick

### 3.1 Zusammenfassung

In den vergangenen Kapiteln wurden drei grundverschiedene Konzepte vorgestellt, wie Fußgängersimulationen entwickelt werden. Alle drei Konzepte haben gewisse Vor- und Nachteile, welche sich im Blick auf das jeweilige Anwendungsgebiet ausgleichen.

Flussgesteuerte Simulationen eignen sich wegen ihrer Einfachheit hauptsächlich dazu, extrem große Menschenmassen zu simulieren, um so einen Gesamteindruck der Massendynamik der Menge zu erhalten. Dabei lassen sie jedoch kaum Individualität für die einzelnen Personen zu. Zelluläre Automaten bzw. zelluläre Agenten bieten bereits deutlich mehr Möglichkeiten, die einzelnen Personen individueller zu gestalten. Jedoch sind sie durch die Natur der zellulären Automaten, welche auf einer stark diskretisierten Umwelt aufbauen.

Da es das Ziel des WALK-Projektes ist, die einzelnen Personen mit ihren emotionalen Eigenheiten zu simulieren, sind diese beiden Konzepte nicht praktikabel, weil sie diese Individualität nicht bieten.

Das Projekt von Shao ähnelt dagegen sehr dem, was im Rahmen des WALK-Projektes geplant ist. Konkret wird für die Agentensteuerung gerade mit der bereits beschriebenen Reactive-Behavior-Pipeline experimentiert, wo bereits gute Ergebnisse im Hinblick auf die Bewegung der Agenten erzielt wurden. Das WALK-Projekt soll im Gesamten jedoch deutlich mehr können, als die Software von Shao. Zum einen soll die Modellierung der Umwelt und deren Wahrnehmung mit Hilfe eines 3D-Geoinformationssystems deutlich mehr Möglichkeiten geben, als eine reine Modellierung von statischen und beweglichen Hindernissen. Weiterhin ist geplant, mit EGOAP eine komplexe Entscheidungsfindung zu entwickeln, welche die emotionalen Zustände in einem Agenten widerspiegeln und daraus authentische Aktionen generieren kann.

Ein technischer Unterschied wird sein, dass das WALK-Tool sehr viel Wert auf Skalierbarkeit legen wird. Es ist geplant, die einzelnen Komponenten ähnlich dem HLA-Konzept[DFW97, DFW98] auf verschiedene Systeme aufteilen zu können und auch via Internet Simulationen steuern zu können.

### **3.2 Ausblick**

Die Hauptaufgabe des nächsten Semesters wird es sein, die bereits vorhandenen Komponenten der WALK-Plattform mit Hilfe einer Middleware auf verschiedene Systeme zu verteilen. Dabei muss nicht nur sichergestellt werden, dass die Middleware im Bezug auf Performance, Zuverlässigkeit und Latenzzeiten die nötigen Anforderungen erfüllt. Die Verteilungskomponente muss ebenso dazu fähig sein, die Agenten einer Simulation möglichst gleichmäßig auf die verfügbaren Systeme aufzuteilen, um eine gute Lastverteilung zu gewährleisten.

## Literatur

- [Bal11] Mariusz Baldowski. Entwicklung eines 3D-Geoinformationssystem für Gefahrensituationen im In- und Outdoorbereich im Rahmen von WALK, 2011.
- [BFV07] Stefania Bandini, Mizar Luca Federici, and Giuseppe Vizzari. Situated cellular agents approach to crowd modeling and simulation. *Cybern. Syst.*, 38:729–753, September 2007.
- [DFW97] Judith S. Dahmann, Richard M. Fujimoto, and Richard M. Weatherly. The department of defense high level architecture. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, WSC '97*, pages 142–149, Washington, DC, USA, 1997. IEEE Computer Society.
- [DFW98] Judith Dahmann, Richard M. Fujimoto, and Richard M. Weatherly. The dod high level architecture: an update. In *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation, WSC '98*, pages 797–804, Los Alamitos, CA, USA, 1998. IEEE Computer Society Press.
- [Jef] Jeff Orkin. Goal Oriented Action Planning. CTAN <http://web.media.mit.edu/~jorkin/goap.html>.
- [Kli09] Arne Klingenberg. Prototypische Entwicklung eines emotionalen Agenten auf der Basis des Goal Oriented Action Plannings, 2009.
- [Set99] J. A. Sethian. *Level Set Methods and Fast Marching Methods: Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science ... on Applied and Computational Mathematics*. Cambridge University Press, 2 edition, June 1999.
- [ST07] Wei Shao and Demetri Terzopoulos. Autonomous pedestrians. *Graph. Models*, 69:246–274, September 2007.
- [TCP06] Adrien Treuille, Seth Cooper, and Zoran Popović. Continuum crowds. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers*, SIGGRAPH '06, pages 1160–1168, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [TCP11] Adrien Treuille, Seth Cooper, and Zoran Popović. Continuum Crowds Video. CTAN <http://www.youtube.com/watch?v=lGOvYyJ6r1c>, jul 2011.
- [TTC11] Gerta Köster Thomas Thiel-Clemen, Stefan Sarstedt. Walk - emotion-based pedestrian movement situation in evacuation scenarios. In *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Workshop Berlin 2011*, pages 103–112, Aachen, DE, 2011. Shaker Verlag.
- [WW01] Michael Woolridge and Michael J. Wooldridge. *Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2001.