



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
SCUOLA DI INGEGNERIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

Tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

**ANALISI E SVILUPPO DI UN COMPONENTE JAVA
PER LA GENERAZIONE AUTOMATICA DI MODELLI
NETLOGO**

Candidato
Aurel Pjetri

Relatore
Prof. Enrico Vicario

Co-relatore
Dott. Sandro Mehic

Anno Accademico 2015/2016

Indice

Introduzione	i
1 Contesto teorico	1
1.1 Simulazione delle masse	1
1.1.1 Stato dell'arte	2
1.1.2 Approccio gerarchico	3
1.2 NetLogo	4
1.2.1 Storia	5
1.2.2 Linguaggio	5
1.3 Builder Pattern	6
1.4 Visitor Pattern	6
2 Sviluppo del progetto	7
2.1 Obiettivo e requisiti	7
2.2 Documento XML	9
2.3 Struttura Interna	10
2.3.1 Parser XML e Builder	10
2.3.2 Visitor	12
2.4 Modello NetLogo	15
2.4.1 Ambiente	17

<i>Indice</i>	ii
---------------	----

2.4.2 Behaviors e stato iniziale	17
--	----

Bibliografia	22
---------------------	-----------

Introduzione

La simulazione delle masse negli ultimi decenni ha attirato l'attenzione di un numero crescente di gruppi di ricerca. Gli ambiti in cui questo fenomeno trova applicazioni interessanti sono molteplici: scienza della sicurezza (evacuazione di ambienti pubblici), progettazione architeturale, studio del flusso di traffico, studio sociologico dei comportamenti collettivi e anche intrattenimento.

La dinamica delle folle è di grande interesse sia sotto condizioni critiche che normali. Nella fase di progettazione di ambienti chiusi come centri commerciali, stadi e scuole dove centinaia di persone si concentrano per scopi differenti bisogna garantire una via di uscita a tutti gli utenti nonostante il numero limitato di punti di uscita. In condizioni normali si può utilizzare per studiare il comportamento delle folle in ambienti come fiere, quartieri, o intere città, in modo, ad esempio, da agevolare la viabilità nei tratti più affollati.

Lo studio delle masse è un argomento molto affascinante, ma allo stesso tempo, molto complesso. Per simulare situazioni del mondo reale è spesso richiesta la modellazione di comportamenti collettivi, come anche individuali, di folle di grandi dimensioni che si muovono in ambienti anch'essi molto grandi. La complessità quindi si sviluppa in due direzioni: logica e temporale. Le simulazioni di modelli di grandi dimensioni, infatti, sono processi che

richiedono molto tempo e grande potenza computazionale. Come è possibile ridurre il tempo di esecuzione di queste simulazioni?

Un possibile approccio (per risolvere questa criticità) è integrare la simulazione vera e propria con metodi analitici come le Catene di Markov. Si scompone il modello in porzioni di dimensioni minori e si eseguono simulazioni isolate su ognuno di questi, quindi si usano metodi matematici e analitici per mettere insieme questi risultati ed ottenere dei dati che cercano di avvicinarsi il più possibile a quelli che si sarebbero ottenuti eseguendo la simulazione sul modello completo.

Questo approccio, però, comporta una moltiplicazione delle simulazioni da eseguire su “patch” adiacenti che rischia di allungare ulteriormente il tempo necessario per una simulazione completa.

L’obiettivo perseguito in questa tesi, quindi, è ridurre i tempi di simulazione automatizzando la compilazione dei modelli NetLogo che eseguiranno le simulazioni.

In concreto il progetto consiste in un programma Java che riceve in ingresso un documento XML in cui è descritto il modello suddiviso in topologia, comportamenti possibili degli attori e stato iniziale dell’ambiente. In seguito alla costruzione degli oggetti Java necessari per la rappresentazione del modello viene eseguita la scrittura del codice NetLogo che modella l’ambiente inizialmente descritto. In questo modo si evita la scrittura da parte di un umano del codice NetLogo sicuramente meno semplice e intuitivo del XML.

Il presente progetto è stato sviluppato presso il Software Science and Technology Laboratory (STLAB), Dipartimento di Ingegneria dell’Informazione, Università degli Studi di Firenze, sotto la supervisione del professor Enrico Vicario e del dottor Sandro Mehic.

Capitolo 1

Contesto teorico

In questo capitolo si descrive il contesto di ricerca in cui si inserisce questo progetto di tesi, andando a descrivere lo stato dell'arte della simulazione delle masse (Sezione 1.1). Successivamente si fornisce una descrizione dell'ambiente NetLogo (Sezione 1.2) e dei Design Patterns (Sezione 1.3 e 1.4) che questo progetto usa al fine di una migliore comprensione e chiarezza dei concetti esposti nel Capitolo 2.

1.1 Simulazione delle masse

Come già accennato nell'introduzione, la simulazione delle masse è un ambito di ricerca che negli ultimi anni ha guadagnato molta rilevanza. Questo grazie a un miglioramento delle capacità computazionali e dei metodi utilizzati, ma anche grazie a una maggiore frequenza degli eventi sociali e delle loro dimensioni crescenti. Quindi diventa sempre più importante la capacità di prevedere i movimenti delle masse in modo da garantire la sicurezza delle persone in ogni tipo di situazione.

Le criticità che rendono la modellazione delle masse un problema complesso

sono le sue grandi dimensioni oltre ai comportamenti individuali, sia sociali che fisici.

Descriviamo brevemente gli approcci più diffusi e riconosciuti per la simulazione delle masse per andare poi a soffermarci sull'approccio gerarchico in cui si inserisce questo progetto di tesi.

1.1.1 Stato dell'arte

Nella modellazione delle masse il maggior problema è dimensione del modello da studiare. Le risposte ideate per risolvere questa criticità sono state molte e possono essere divise in due categorie sulla base del loro approccio: micro-scala e macro-scala. L'approccio a micro-scala si basano sull'idea di rappresentare ogni persona come agente o macchina a stati finiti. I tre approcci più usati sono: *social force model*, *cellular automata*, *magnetic force model* e *rule-based model*.

Il social force model introdotto da Helbing e i suoi collaboratori [4] si fonda sul concetto che le forze sociali possono essere rappresentate come forze meccaniche tra particelle, ovvero tra persone. Le forze prese in considerazione sono repulsione, attrito e dissipazione. Solitamente questi modelli arrivano ad essere molto espressivi permettendo di descrivere comportamenti sia fisici che sociali nel modello.

Il magnetic force model [6] è simile al precedente approccio, esso modella le persone come poli positivi, allo stesso modo anche gli ostacoli da evitare vengono visti come poli positivi, al contrario i punti di interesse sono modellati come poli negativi. In questo modo gli agenti sono attratti dai loro punti di interesse e evitano le collisioni.

L'approccio cellular automata [3] caratterizzato da una griglia bidimensionale dove una cellula è definita dal suo stato, che evolve nel tempo sulla base

del proprio valore e dello stato delle cellule adiacenti. Modificando il numero di cellule che influenzano lo stato si possono rappresentare comportamenti diversi, ad esempio per il contatto fisico si usa un insieme molto ristretto di cellule, al contrario per il campo visivo si usa un numero maggiore di cellule. Infine il rule-based model [7] presenta spazio e tempo continui e prevede di modificare la velocità e la direzione di un attore sulla base di determinate regole, come conformismo, anticonformismo e coesione.

1.1.2 Approccio gerarchico

L'approccio proposto (da Sandro Mehic, Marco Paolieri e Enrico Vica-rio) in [5] per affrontare il problema della simulazione delle masse è di tipo gerarchico. Si scompone la simulazione in tre livelli di scala diversi in modo da ottenere una soluzione analitica indipendente dal numero di agenti.

Al primo livello si usa una modellazione di tipo microscopico basata su agenti (Agent Based Modeling) per ottenere parametri come tempo medio di soggiorno e probabilità di transizione. Oltre alle strategie di movimento si introducono due paradigmi diversi di comportamento che modellano l'aspetto sociale della folla.

Il primo è l'altruismo, ovvero la probabilità che un attore aiuti un altro attore con una capacità di movimento minore della sua, è stato dimostrato infatti che questa risulta essere un aspetto caratteristico delle masse. Il secondo è il conformismo, ovvero quanto questo attore tenderà ad unirsi alla massa oppure a cambiare percorso di fronte a una strada affollata.

L'aspetto fisico dell'attore invece, inteso come strategia di movimento, consiste nell'individuazione e raggiungimento dell'uscita più vicina.

1.2 NetLogo

NetLogo [8] è un linguaggio di programmazione e un ambiente di modellazione di sistemi complessi. Adatto per la simulazione e lo studio di fenomeni naturali e sociali che si evolvono nel tempo.

Gli utenti possono dare istruzioni a migliaia di agenti che operano in modo concorrenziale. Questi comandi possono essere dati in modo individuale o collettivo, permettendo quindi lo studio dei comportamenti su più livelli, come quello microscopico dei behaviors individuali o quello macroscopico delle loro interazioni con gli altri.

NetLogo è usato per costruire una infinita varietà di simulazioni. I suoi turtles sono stati trasformati in molecole, lupi, clienti, commercianti, api, uccelli, batteri, macchine, magneti, pianeti, formiche e molto altro. Le sue patches allo stesso modo sono state usate come alberi, muri, corsi d'acqua, cellule tumorali, cellule vegetali e altro ancora. Turtles e patches possono essere usate per studiare astrazioni matematiche, ma anche per fare arte o giocare. Tra i temi studiati con questo strumento ci sono automi cellulari, algoritmi generici, evoluzione, ottimizzazione e individuazione di percorsi, dinamiche della popolazione e società artificiali.

Tutti questi modelli condividono il topic centrale perseguito da questo strumento che sono i sistemi complessi e i comportamenti emergenti.

Il più grande miglioramento apportato a partire dalla versione 2.0 in poi riguarda la grafica. In particolare i turtles possono essere di qualsiasi forma e dimensione e soprattutto possono essere posizionati in qualsiasi punto dello spazio. La loro grafica è di tipo vettoriale in modo da non avere perdita di qualità dell'immagine a qualsiasi scala si visualizzi il modello.

1.2.1 Storia

Nasce a scopo educativo e di ricerca, dalla fusione di **Logo** e **StarLisp**. Dal primo eredita il principio *"low threshold , no ceiling"*, ovvero bassa soglia di conoscenza per il suo utilizzo, rendendolo accessibile a utenti inesperti nella programmazione, ma allo stesso tempo completa programmabilità rendendolo quindi anche uno strumento utile per la ricerca.

Da Logo viene ereditato anche il concetto fondamentale di *turtle*, con la differenza che Logo permetteva il controllo di un unico agente, mentre un modello NetLogo può averne migliaia. Da StarLisp, invece, NetLogo eredita i molteplici agenti e la loro *concurrency*.

Il design di NetLogo si basa sulla precedente esperienza dei suoi creatori con StarLogoT [Wilensky, 1997] (Wilensky, Uri, StarLogoT, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. <http://ccl.northwestern.edu/cm/starlogot/>), di cui sono stati rielaborati quasi interamente sia l'interfaccia che il linguaggio, aggiungendo soprattutto funzionalità destinate a utenti nel campo della ricerca.

1.2.2 Linguaggio

Come Linguaggio NetLogo si evolve da Logo al quale aggiunge il concetto di agenti e di concurrency. In generale Logo è molto conosciuto per il concetto di **turtle** che ha introdotto. NetLogo generalizza questo permettendo il controllo di centinaia o migliaia di turtles che si muovono e interagiscono tra di loro.

Il mondo in cui i turtles si muovono è suddiviso in **patches** anche esse interamente programmabili, sia turtles che patches vengono chiamate collettivamente **agents**. Tutti gli agenti possono interagire tra di loro e eseguire

istruzioni in modo concorrenziale. NetLogo include inoltre un terzo tipo di agente, l'**observer** il quale è unico. In generale l'observer è quello che impartisce ordini agli agenti.

Possono essere definite diverse “razze” (**breeds**) di turtles, ciascuna con variabili e behaviors caratteristici.

Una peculiarità che contraddistingue NetLogo dai suoi predecessori sono gli “agentsets”, ovvero insiemi di agenti.

1.3 Builder Pattern

1.4 Visitor Pattern

Capitolo 2

Sviluppo del progetto

In questo capitolo verrà descritto lo scopo di questo progetto, i requisiti necessari al suo raggiungimento e i dettagli della sua struttura interna che ne permette il funzionamento. In particolare andremo ad analizzare il class-diagram che mostra le relazioni tra le classi che lo costituiscono e discuteremo delle scelte implementative fatte.

2.1 Obiettivo e requisiti

L'obiettivo di questa tesi è creare un programma in linguaggio Java che sia in grado di ricevere in ingresso la struttura del modello descritta in linguaggio XML e di scrivere in modo automatico il codice NetLogo che possa eseguire la simulazione di interesse, rendendo, quindi, trasparente il processo di scrittura del codice.

La scelta del linguaggio XML è dettata dalla sua diffusione, con lo scopo di ridurre le conoscenze preliminari necessarie per l'utilizzo di questo strumento.

Per l'analisi del documento XML abbiamo scelto la libreria JDOM2 non

inclusa in Java. Il Wold Wide Web Consortium, infatti, ha stabilito uno standard cross-platform e language-independent detto DOM (Document Object Model) per la rappresentazione di documenti strutturati (quindi XML, HTML, XHTML) come modello orientato agli oggetti. Il formato JDOM [2] usato dalla libreria è una variazione dello standard disegnata appositamente per Java.

JDOM2 sfrutta la classe `SAXBuilder` della libreria SAX (Simple Api for Xml) per la costruzione del modello JDOM sotto forma di albero che rispecchia la struttura del documento da cui è stato estratto. Ogni nodo dell'albero è di tipo `Element`. Conserva una lista dei figli e un riferimento al padre.

Per quanto riguarda la parte della scrittura del codice NetLogo, si ha che gran parte del codice che modella la simulazione rimane fissa al variare dei modelli descritti negli XML, quindi abbiamo pensato di mantenere questa in un semplice file di testo che viene letto e integrato con le informazioni contenute negli oggetti Java. Per le operazioni di lettura e scrittura su file abbiamo usato le classi `BufferedReader` e `PrintWriter` che permettono lettura e scrittura di intere linee di testo.

Lo strumento segue il seguente workflow:

- analisi del documento XML e costruzione di una rappresentazione della struttura orientata agli oggetti in JDOM attraverso l'omonima libreria
- costruzione degli oggetti Java per la rappresentazione della simulazione descritta nel modello JDOM
- visita degli oggetti Java e scrittura su file del codice NetLogo che eseguirà la simulazione

2.2 Documento XML

La struttura del documento XML prevista per il funzionamento del nostro strumento si attiene il più possibile allo standard di formato GraphML [1] (approvato dal W3C) in modo da evitare inconsistenze e incomprensioni, soprattutto per la parte in cui è descritta la topologia dell'ambiente, per la quale questo formato è pienamente adatto.

Il file XML è suddiviso in tre sezioni distinte:

- **Graph**
- **Behaviors**
- **System**

Graph rappresenta la topologia dell'ambiente in cui gli attori si muovono, ed è descritta sotto-forma di grafo con **edges** che rappresentano le strade e **nodes** che rappresentano gli incroci. Gli edges possono essere **directed** e **undirected**, per ognuno di essi vengono specificati peso e larghezza. I nodes invece possono essere di tre tipi: **normal**, **entry** o **exit**. Per tutti e tre i tipi vengono specificate coordinate spaziali e dimensioni fisiche dell'incrocio che esso rappresenta.

Per quanto riguarda i **Behavior** si è preferito distaccarci leggermente dallo standard, in modo da avere una struttura più comprensibile, usando gli specifici tag `<behavior \>`. Per ogni behavior viene indicata la tipologia, l'identificatore e la lista dei nodi di interesse.

La sezione **System** descrive lo stato iniziale (**state**) dell'ambiente. Per ogni nodo indica il numero di attori presenti e i loro behavior. In particolare nei nodi contrassegnati come **entry** o **exit** viene aggiunta una sezione denominata **parameters** in cui si specificano la frequenza di generazione o eliminazione

degli attori e le percentuali relative ad ogni behavior. Per i nodi di ingresso viene anche indicato un limite superiore agli attori generabili.

2.3 Struttura Interna

L'unico scopo delle classi Java utilizzate è quello di rappresentare e conservare l'informazione raccolta dal documento XML, senza eseguire alcun tipo di manipolazione. Per questo motivo abbiamo cercato di mantenere la struttura delle classi il più semplice possibile, come mostrato in Figura 2.1.

Ogni behavior è caratterizzato da un identificatore, attribuitogli dal XML,

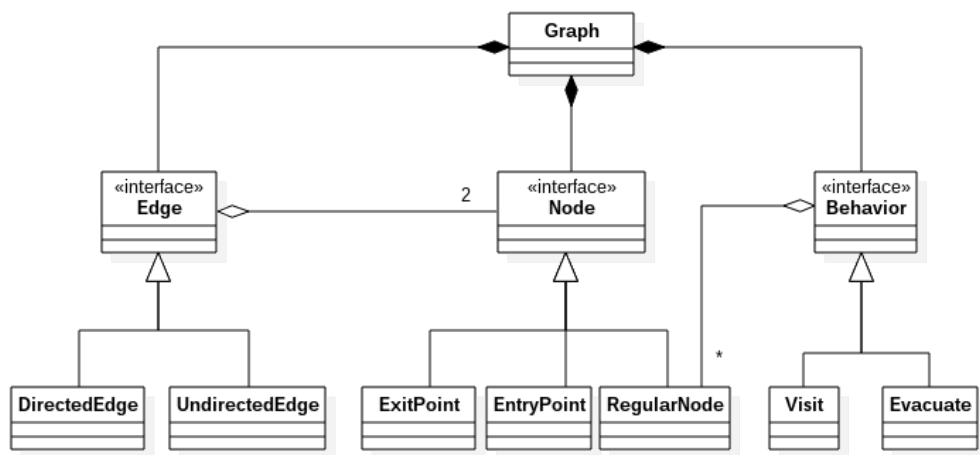


Figura 2.1: Class diagram della struttura del grafo

e da una lista di nodi regolari di interesse che devono essere visitati prima di permettere all'attore di puntare ad una uscita.

2.3.1 Parser XML e Builder

Come già accennato, abbiamo scelto il formato JDOM per la rappresentazione del file XML. La scelta di questo formato è stata dettata dalla sua

struttura, che si adatta meglio ai nostri fini di sola lettura e non di manipolazione del documento.

Per la fase di costruzione delle classi abbiamo usato il pattern Builder, in

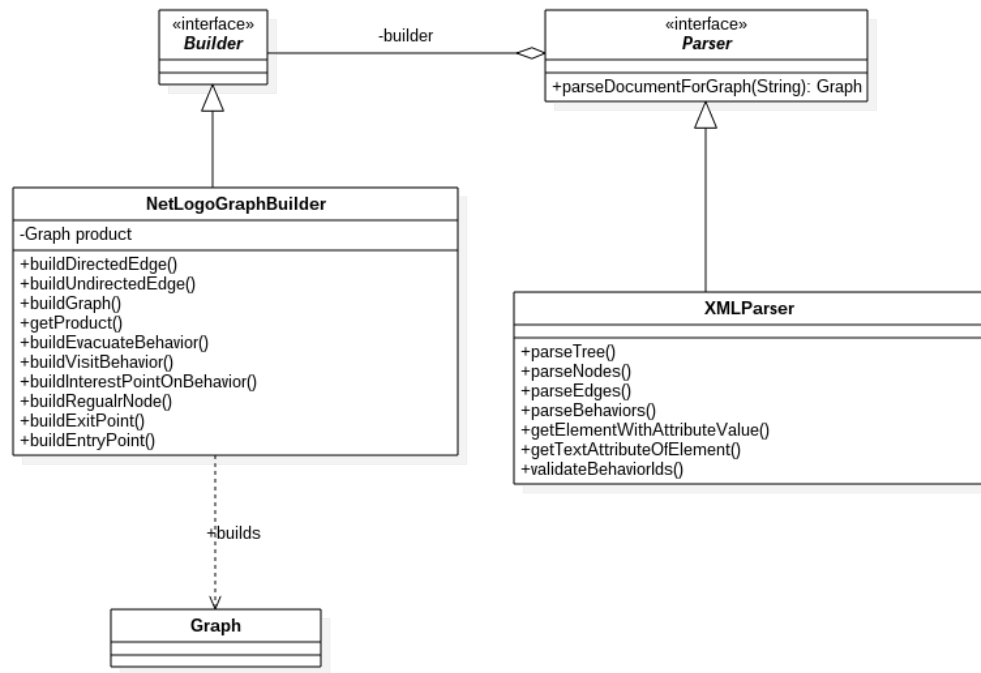


Figura 2.2: Class diagram di Parser e Builder

modo da mantenere il processo di costruzione della struttura interna dell'oggetto di tipo Grafo trasparente all'utente di questo strumento. In particolare l'interfaccia del Builder aiuta a mantenere l'algoritmo di interpretazione dell'XML separato dal processo di costruzione e rappresentazione del suo contenuto in classi Java.

Il pattern Builder, inoltre, porta il grande beneficio di migliorare la modularizzazione derivante dall'incapsulamento di tutta la procedura di manipolazione della struttura interna dell'oggetto costruito, in questo modo il Client non ha necessità di conoscere la sua composizione interna.

Una conseguenza che rende il pattern ancora più adatto al nostro caso è

il miglioramento del controllo sul processo di costruzione del prodotto. Al contrario di altri pattern creazionali, i quali costruiscono e restituiscono il prodotto in un'unica funzione, il Builder separa queste due operazioni mettendo a disposizione un'interfaccia più completa.

Grazie a questo noi siamo, quindi, in grado di esercitare un maggiore controllo sulla correttezza delle operazioni eseguite e delle informazioni inserite durante questa prima fase.

L'interfaccia Parser rende il progetto aperto ad estensioni future, come il supporto di linguaggi alternativi al XML.

Come si vede in Figura 2.2 il parser esercita il ruolo di Director per il builder. Il processo di analisi del documento e costruzione degli oggetti Java è descritto nel sequence diagram in Figura 2.3. XMLParser costruisce, attraverso la libreria JDOM2, il modello JDOM del documento, il quale rispecchia la struttura ad albero del documento. Quindi il parser effettua una visita del modello ad albero, legge le informazioni necessarie e impartisce i corretti comandi al builder.

2.3.2 Visitor

Per l'operazione di scrittura del codice NetLogo si ha la necessità di estrapolare dagli oggetti che costituiscono la struttura del grafo diverse informazioni. Al variare della classe concreta varieranno anche le informazioni specifiche da estrarre.

Il grafo inoltre presenta una struttura di classi con interfacce diverse che devono, quindi, essere modificate per poter eseguire l'operazione necessaria.

In questo contesto, quindi, il pattern Visitor si rivela molto utile permettendo di eseguire operazioni specifiche al variare della classe concreta senza

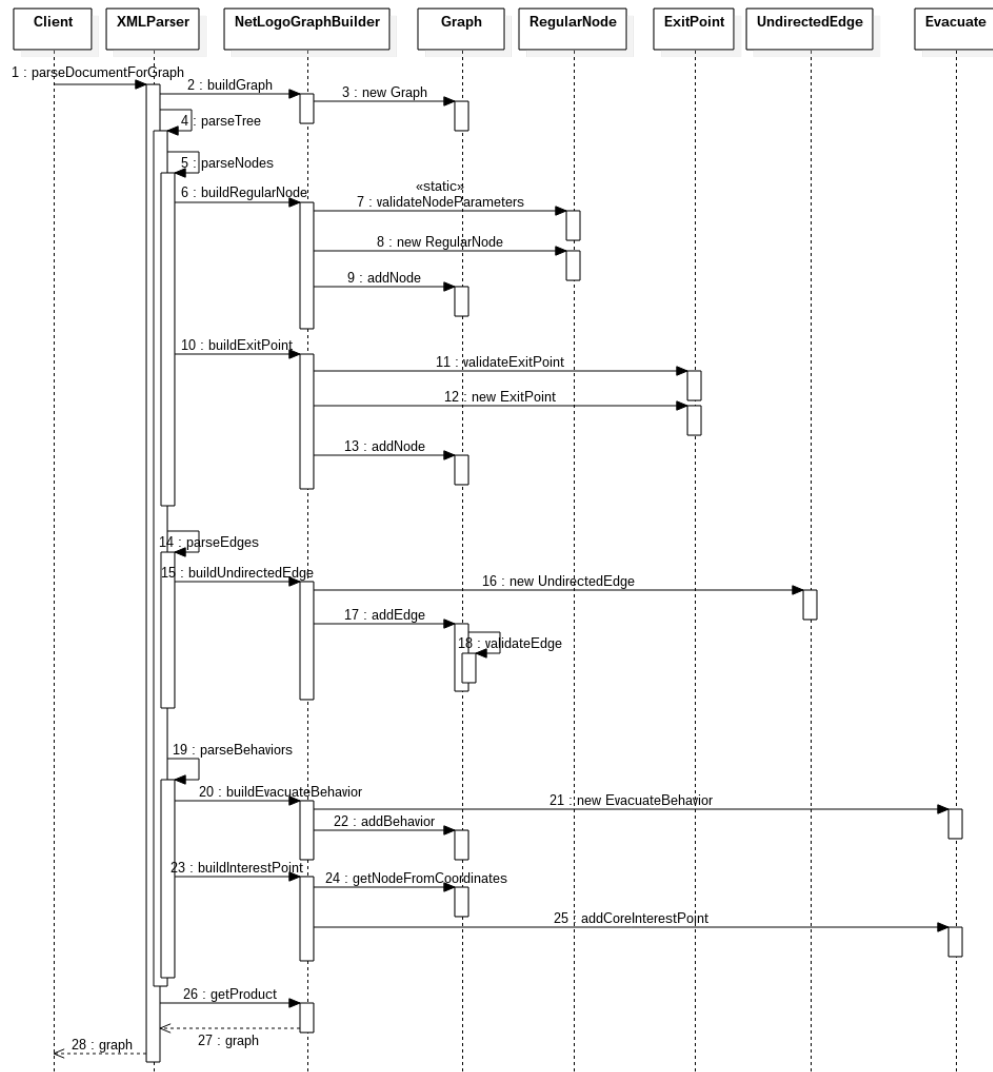


Figura 2.3: Sequence diagram della costruzione di un grafo da parte di XMLParser

inquinare le diverse interfacce all'interno della struttura.

Un ulteriore vantaggio presentato dal Visitor è quello di concentrare le funzioni per la scrittura del codice NetLogo in classi specifiche rendendo il sistema più facile da mantenere ed eventualmente estendere.

La struttura dei modelli NetLogo finali è tale che gran parte del codice necessario rimane fissa al variare della simulazione, per questo motivo si ha che l'operazione di scrittura del codice NetLogo eseguita dai visitor è alternata a quella di lettura da appositi file di testo che contengono la parte fissa del modello. Queste parti fisse quindi vengono completate con le informazioni estrapolate dagli oggetti Java precedentemente messi in vita.

Abbiamo inoltre scelto di separare il modello NetLogo finale in due parti, mantenendo distinta la parte del modello che mette in vita l'ambiente da quella che controlla i movimenti degli attori e raccoglie le informazioni di interesse.

Si hanno quindi due classi visitor distinte per ognuno dei due modelli NetLogo da creare: `NetLogoGraphVisitor` e `NetLogoBehaviorVisitor` (Figura 2.4). Il primo effettua una visita su nodi e archi del grafo per scrivere i comandi necessari a mettere in vita l'ambiente corretto. Il secondo, invece, effettua una visita sui behaviors in modo da definire i comportamenti che gli attori potranno avere nella simulazione e sui nodi per impostare lo stato iniziale del sistema.

In questo modo le interfacce delle classi del grafo, rimangono inalterate ma le operazioni effettuate variano al variare del visitor concreto, rendendolo un pattern ancora più adatto a questo specifico caso.

In Figura 2.5 è mostrato il funzionamento di un `NetLogoGraphVisitor`. L'oggetto finale ottenuto da questo visitor è un file eseguibile `.nlogo` che costruisce l'ambiente con la corretta topologia e esporta un file `.csv` necessario al

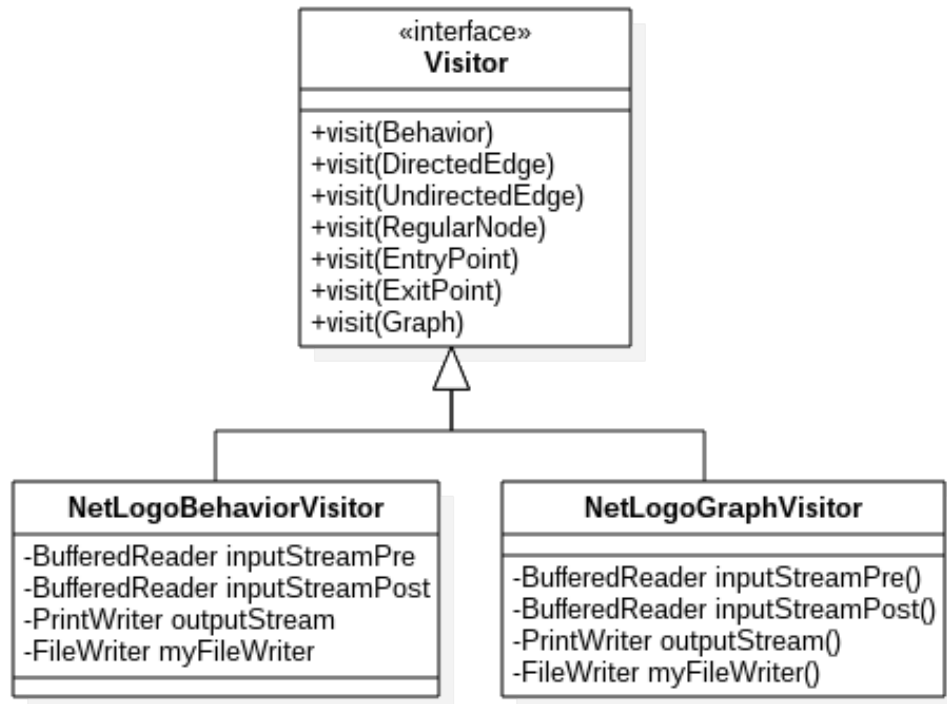


Figura 2.4: Class Diagram del Visitor

secondo modello per l'acquisizione dell'ambiente.

NetLogoBehaviorVisitor, in modo analogo, eseguirà operazioni di lettura e scrittura alternate per generare un file eseguibile `.nlogo`.

2.4 Modello NetLogo

Come già accennato in precedenza abbiamo scelto di dividere il modello NetLogo generato dal nostro programma in due parti con lo scopo di mantenere le funzioni necessarie per la costruzione dell'ambiente separate da quelle che modellano i movimenti degli attori e raccolgono le informazioni sulla simulazione eseguita. In questo modo il codice è più facile da gestire e ma-

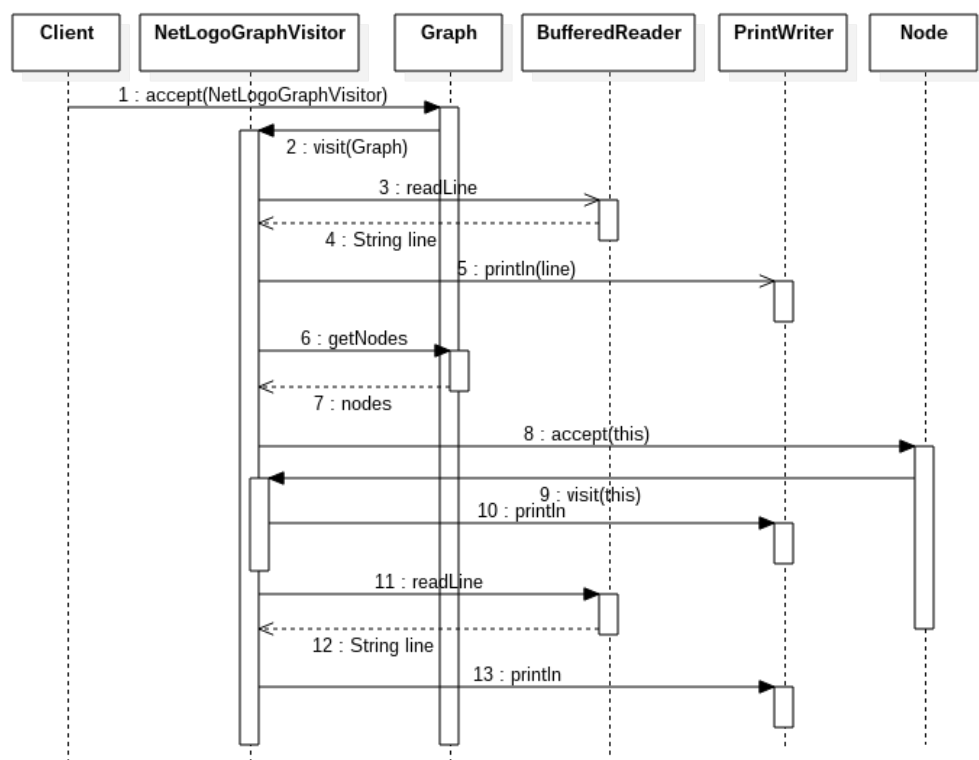


Figura 2.5: Sequence Diagram del NetLogoGraphVisitor su un grafo con un unico nodo

nutenere.

Questa scelta porta, inoltre, il vantaggio di poter sfruttare il file csv generato dal primo modello eseguendo questo una sola volta, in questo modo si evitano operazioni ridondanti nel caso in cui si vogliano simulare le interazioni di diversi comportamenti nello stesso ambiente.

2.4.1 Ambiente

L'ambiente in cui gli attori si muoveranno è modellato sotto forma di grafo con specifiche tipologie di turtles dette **beacon** che fanno da nodi e rappresentano quindi gli incroci tra le vie percorribili.

Gli archi sono rappresentati da due tipologie diverse di turtles dette **street**, percorribili in entrambi i versi, e **directed-street**, percorribili solo in un verso.

Per i beacons di ingresso e di uscita vengono anche impostati i relativi parametri, ovvero tasso di generazione o eliminazione degli attori e percentuali relative ai behavior da attribuire ad essi. In particolare per gli entry points si imposta anche un limite massimo del numero di attori che possono essere generati.

Grazie a questi parametri il sistema è predisposto per lo studio di simulazioni in ambienti comunicanti, in cui quindi gli attori possono uscire da un ambiente e entrare in un altro.

2.4.2 Behaviors e stato iniziale

Abbiamo scelto di caratterizzare i behaviors degli attori con un identificatore intero e una lista di nodi di interesse che l'attore deve raggiungere prima di uscire dall'ambiente.

Sono state inoltre inserite due possibili modalità di raggiungimento dei bea-

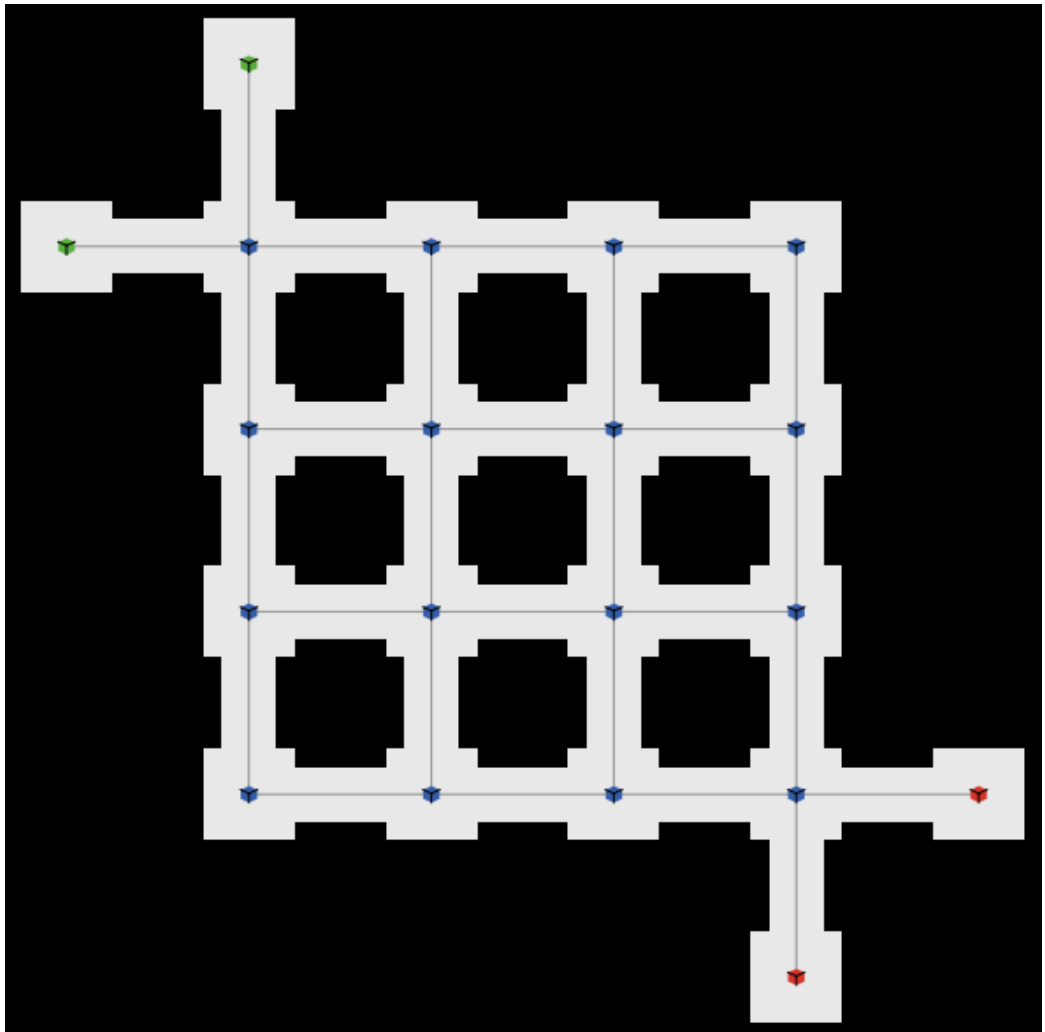


Figura 2.6: Esempio di ambiente generato. In questo caso i beacons di ingresso sono di colore verde e i beacons di uscita di colore rosso.

cons di interesse: `"minDistance"` e `"orderedList"`. Nella prima l'attore punta al nodo più vicino a quello precedentemente raggiunto tra quelli di interesse, nella seconda invece la lista viene rigidamente percorsa rispettando l'ordine.

Lo stato iniziale del sistema è contenuto in una semplice lista `initial-state` che viene percorsa da una apposita funzione per la corretta generazione degli attori sui vari nodi.

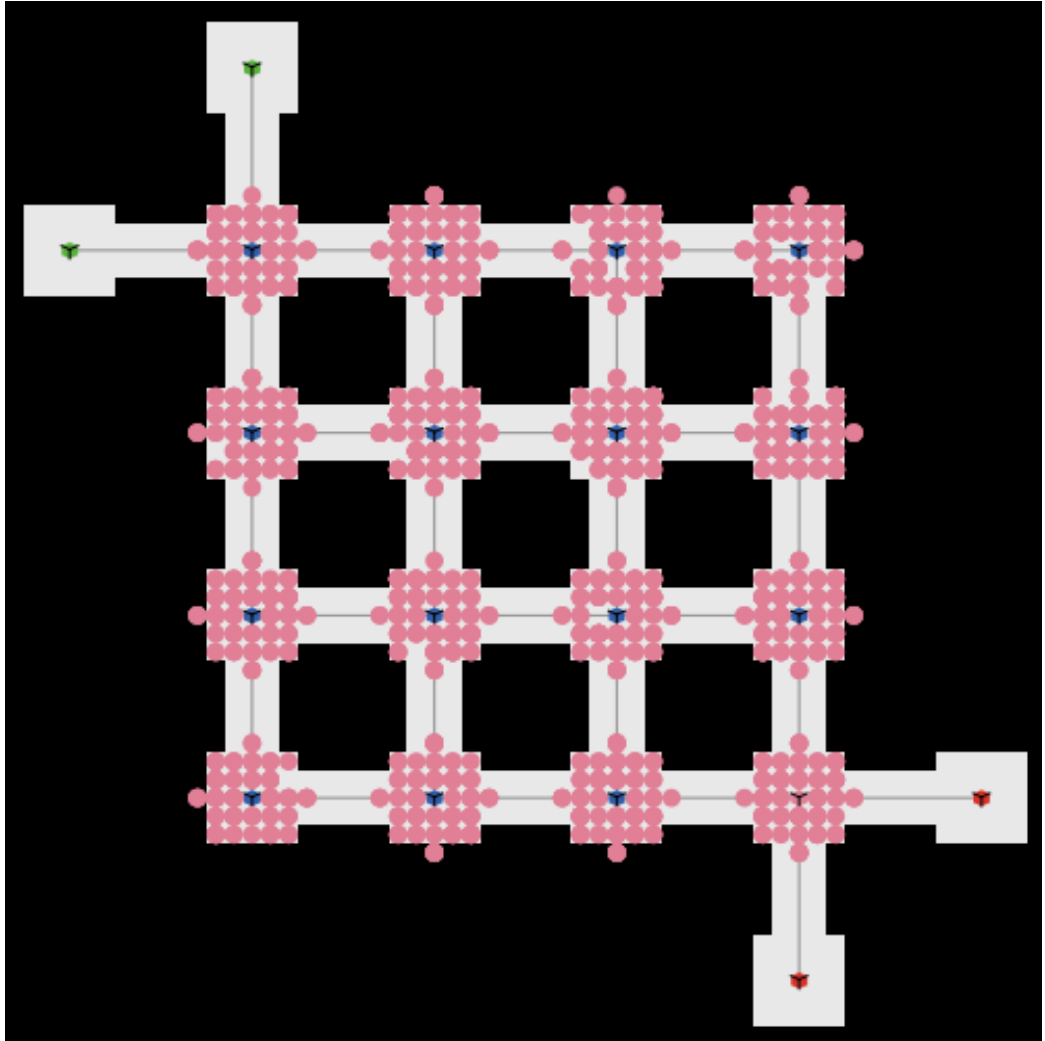


Figura 2.7: Esempio di ambiente popolato con attori nello stato iniziale. Gli attori hanno assunto il colore del beacon che hanno come obiettivo, in questo caso abbiamo un unico behavior che ha come interest point il beacon di colore rosa.

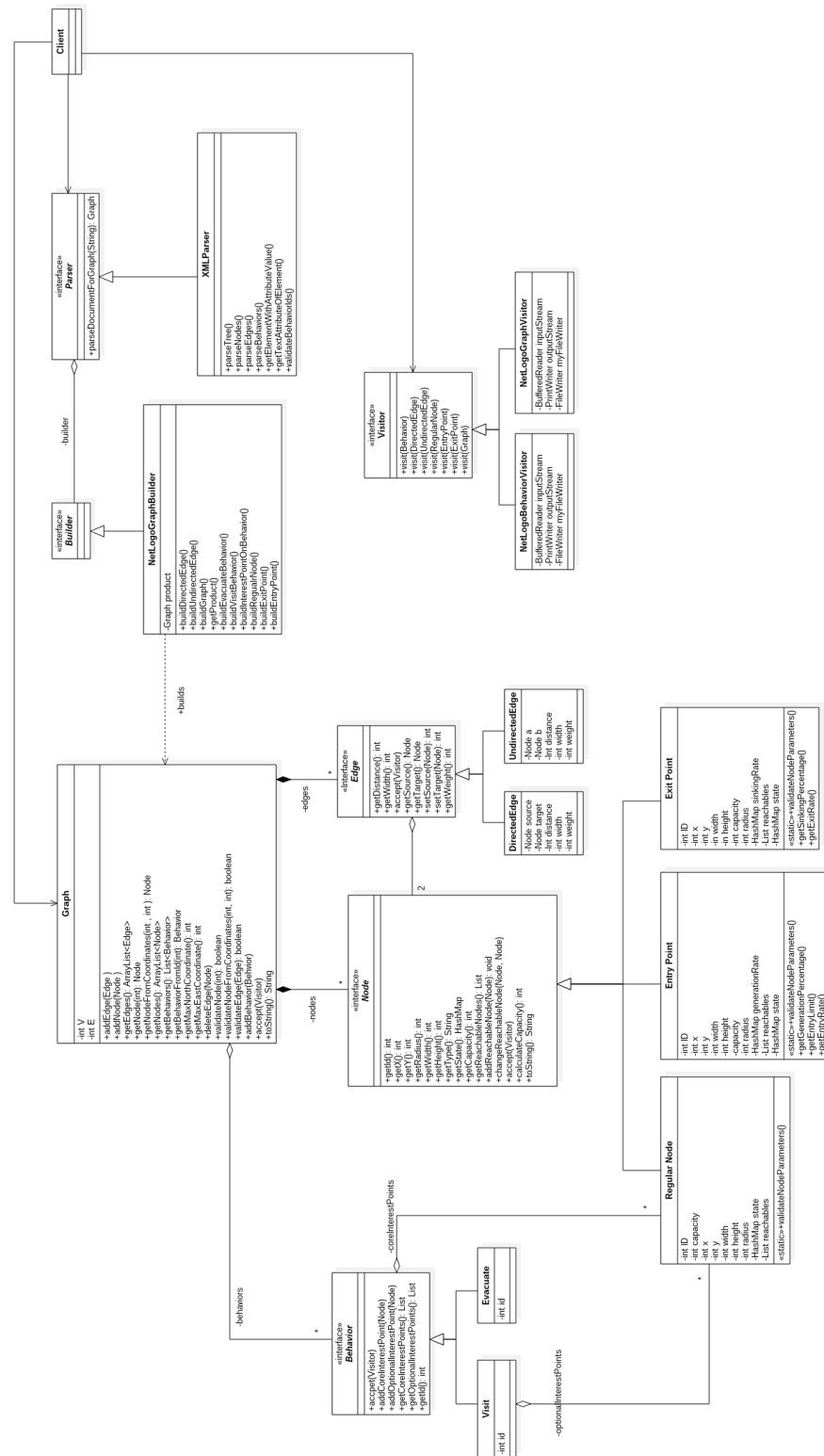


Figura 2.8: Classi diagram

Bibliografia

- [1] GraphML. <http://graphml.graphdrawing.org/>.
- [2] JDOM. <http://www.jdom.org/>.
- [3] Jan Dijkstra, Harry JP Timmermans, and AJ Jessurun. A multi-agent cellular automata system for visualising simulated pedestrian activity. *Theory and Practical Issues on Cellular Automata*, 2001.
- [4] Dirk Helbing, Ill és Farkas, and Tamas Vicsek. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 2000.
- [5] Sandro Mehic, Marco Paolieri, and Enrico Vicario. Research report of hierarchical approach for the scalable analysis of crowd evacuation models. *Università degli Studi di Firenze*, 2015-2016.
- [6] S. Okazaki. A study of pedestrian movement in architectural space. part 1: pedestrian movement by the application of magnetic models. *Trans. of AIJ*, 1979.
- [7] Craig W Reynolds. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *ACM SIGGRAPH computer graphics*, 1987.

-
- [8] Uri Wilensky. Netlogo (and netlogo user manual). *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern*, 1997. <http://ccl.northwestern.edu/cm/starlogot/>.
- [9] Uri Wilensky and Seth Tisue. Netlogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment. *Agent2004. Chicago, IL. Retrieved October 4, 2012*, 2004.