

# AW1 Vortrag

## Individuen basierte Modelle in der Ökologie

Malte Eckhoff

October 20, 2013

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

# Idee von Individual based Models

- ▶ Nutzen einzelne Individuen als kleinste Einheit
- ▶ Jedes Individuum hat einen eigenen Zustand
- ▶ Eigenschaften des Systems entstehen durch die Interaktion der einzelnen Individuen (Emergenz)

Grimm (1999)

# Multi-Agenten-Systeme

- ▶ Eine mögliche Implementation von Individuen orientierten Systemen
- ▶ Komplexität von Individuen orientierten Modellen machen die Verwendung von Computern nötig

# Agenda

Einführung

**Motivation**

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

# Motivation für die Verwendung von individuen orientieren Modellen in der Ökologie

- ▶ Nicht alle individuellen Eigenschaften von Tieren in klassischen State-Variable-Modellen berücksichtigbar
- ▶ Verständnis wie individuelle Eigenschaften die Eigenschaften des Systems bestimmen

Grimm (1999)

# Agenda

Einführung

Motivation

**Historie**

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur



# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS (1979)

Fachdomäne

- ▶ Forellenbarsche ernähren sich, unter anderem, von anderen kleineren Fischen
- ▶ Falls keine anderen Fische verfügbar sind werden sie Jungtiere die jünger als ein Jahr sind (young-of-the-year) fressen
- ▶ Kannibalismus senkt die Produktivität bei der Zucht von Forellenbarschen

DeAngelis *et al.* (1980)

# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS

## Fragestellung

- ▶ Ausmaß des Kannibalismus in einer Fischpopulation vorhersagen
- ▶ Welche Einflussgrößen sind entscheidend für das auftreten von Kannibalismus?  
Hypothese: Die Verfügbarkeit von alternativen Nahrungsquellen

DeAngelis *et al.* (1980)

# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS

## Versuchsaufbau

- ▶ Zwei Aquarien mit ungefähr gleichen Anzahl an Fischen ungefähr gleicher Größe.
- ▶ Eine Fischpopulation wird mit ausreichend Daphnien gefüttert.
- ▶ Die andere Fischpopulation erhält kein Futter.
- ▶ Versuchsdauer: 50 Tage

DeAngelis *et al.* (1980)

# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS

## Relevante Eigenschaften der Tiere

- ▶ Modelliert auf der Basis von Fischpopulationen in Laborversuchen.
- ▶ Kannibalismus zwischen zwei Fischen erfolgt ab einem Größendifferenzfaktor von 1.6
- ▶ Kannibalismus nimmt deutlich ab einem Größendifferenzfaktor von 2.4 zu

DeAngelis *et al.* (1980)

# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS

## Modellierung

- ▶ Jeder Fisch wird einzeln betrachtet
- ▶ Atomare Zeiteinheit: 1 Tag
- ▶ Berechnung für jeden Fisch jeden Tag:
  - ▶ Fisch stirbt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einen natürlichen Tod (kein Kannibalismus)
  - ▶ Wachstum des Fisches wird berechnet
  - ▶ Nahrungsaufnahme (Daphnien) wird berechnet (nur falls Nahrung gegeben wird)
  - ▶ Vergleich des Fisches mit allen anderen: Basierend auf dem Größenunterschied und der Aggressivität des Fisches, wird er einen andern Fisch, mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, fressen.

DeAngelis *et al.* (1980)

# CANNIBALISM AND SIZE DISPERSAL IN YOUNG-OF-THE-YEAR LARGEMOUTH BASS

## Ergebnis

- ▶ Die initiale Größe der einzelnen Fische spielt eine sehr viel größere Rolle als alternative Nahrungsquellen.

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

**Architektur von Multi-Agenten-Simulationen**

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

# Agent

1/2

- ▶ Agenten sind autonom und mindestens teilweise selbstständig
- ▶ Kein Agent hat eine globale Übersicht über das System
- ▶ Es gibt keinen "Kontroll-Agenten". Das System ist dezentral aufgebaut.

Wooldridge (2002)



Konkret bedeutet das:

- ▶ Lebt in der Umwelt
- ▶ Besitzt einen individuellen Zustand
- ▶ Nimmt die Umwelt über Sensoren wahr
- ▶ Trifft aufgrund der, über die Sensoren gewonnenen, Informationen Entscheidungen
- ▶ Führt Aktionen aus und ändert damit den Zustand der Umwelt
- ▶ Führt Aktionen aus und ändert damit den Zustand anderer Agenten

# Umwelt

- ▶ Stellt Regeln für die Interaktion von Agenten auf.
- ▶ Reagiert auf Grundlage dieser Regeln auf die Aktionen von Agenten.
- ▶ Ändert den Zustand auf der Grundlage bestimmter Regeln.

# Software-Architektur

## Problem

- ▶ Keine einheitlichen Standards für die Architektur von Individuen basierten ökologischen Simulationen.

Holst (2013)

# Software-Architektur

## Bisherige Lösungsansätze

### Bisherige Vorschläge:

- ▶ The Common Modelling Protocol: A hierarchical framework for simulation of agricultural and environmental systems a.D. Moore *et al.* (2007)
- ▶ An architecture for developing service- oriented and component-based environmental models. Papajorgji *et al.* (2004)
- ▶ The ModCom modular simulation system. Hillyer *et al.* (2003)
- ▶ Integrating modelling architecture: a declarative framework for multi-paradigm, multi-scale ecological modelling Villa (2001)
- ▶ Semantics and syntax elements of a unique calculus for modelling of complex ecological systems Wenzel (1992)

Entweder zu kompliziert (bspw. Wenzel (1992)), oder Technologie abhängig (bspw. Hillyer *et al.* (2003)).

Holst (2013)

# A universal simulator for ecological models

## Ziele

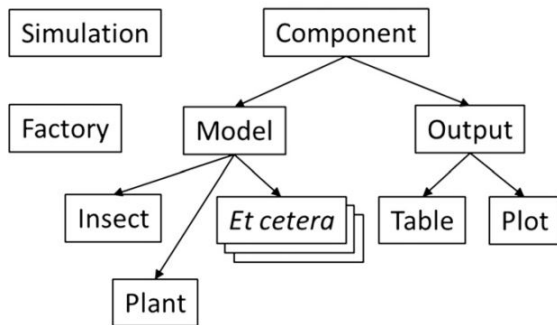
### Ziele der Architektur:

- ▶ Modular und generisch
- ▶ Verwendung von bewährten design-patterns

Holst (2013)

# A universal simulator for ecological models

## Übersicht



**Fig. 1.** Classes of the simulation environment. Simulation and Factory are Singleton classes (Gamma et al., 1995). Model and Output classes are derived from the Component base class and serve themselves as base classes for further derivation. 'Et cetera' stands for additional classes derived from Model.

Quelle: *Holst (2013)*

# A universal simulator for ecological models

## Factory

- ▶ Instantiiert und initialisiert Component objects mit Hilfe des Abstract Factory Patterns Gamma *et al.* (1994)
- ▶ Component objects implementieren die "amend" Methode, um sich nach ihrer Instantiierung zu initialisieren.

Holst (2013)

# A universal simulator for ecological models

## Simulation 1/2

- ▶ Implementiert die "run"-Methode um die Simulation in wohl definierten Schritten auszuführen.

Holst (2013)



# A universal simulator for ecological models

## Simulation 2/2

```
// Listing 2 //  
Simulation::run() {  
    for each component[i] do component[i]->initialize();  
    for each iteration do {  
        for each component[i] do component[i]->reset();  
        for each time step do  
            for each component[i] do component[i]->update();  
        for each component[i] do component[i]->cleanup();  
    }  
    for each component[i] do component[i]->debrief();  
}
```

Quelle: *Holst (2013)*

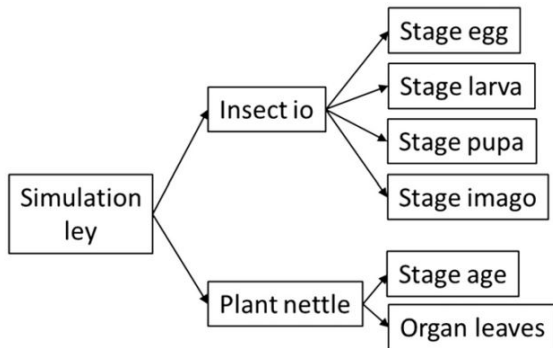
# A universal simulator for ecological models

## Structure 1/2

- ▶ Die Simulation initialisiert und verwaltet die Component Objekte
- ▶ Die Component-Objekte bilden einen Baum
- ▶ Jedes Component-Objekt implementiert eine Menge von Operationen für die Ausführung der Simulation (Initialisierung, Zurücksetzen, Ausführung eines Zeitschrittes etc.)
- ▶ Basiert auf dem Composite-Pattern von Gamma *et al.* (1994) das es erlaubt, einzelne Objekte und Objektgruppen gleich zu behandeln

# A universal simulator for ecological models

## Structure 2/2



**Fig. 2.** Example of Model objects in the simulation environment. Boxes are objects with class name followed by object name. Arrows denote a 'has-a', or 'parent-child', relationship.

Quelle: *Holst (2013)*

# A universal simulator for ecological models

## Ausblick

Der Standard beschreibt noch eine ganze Menge mehr:

- ▶ Normalisierter Informationsfluss zwischen den Komponenten
- ▶ zentralisierte Parametrisierung der Komponenten
- ▶ Normalisierte Implementierung des Zustands einer Komponente
- ▶ Interaktion zwischen Komponenten
- ▶ etc.

Würde aber den Rahmen des Vortrags sprengen.

Holst (2013)

# Beschreibung einer konkreten Architektur

## Probleme

- ▶ Keine einheitlichen Standards
- ▶ Verständnis und Reproduktion der Ergebnisse anderer Gruppen dadurch unnötig schwierig
- ▶ Lösungsansatz: A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

Grimm *et al.* (2006)

# A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

Zielsetzung

- ▶ Verständlichkeit durch Standardisierung erhöhen
- ▶ Reimplementierung (für die Reproduktion der Ergebnisse) des Modells durch normalisierte Beschreibung der Abläufe vereinfachen

Grimm *et al.* (2006)

# A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

## Aufbau

- ▶ **ODD** protocol
  - ▶ **Overview**
    - ▶ Purpose
    - ▶ State Variables and Scales
    - ▶ Process Overview and Scheduling
  - ▶ **Design Concepts**
  - ▶ **Details**
    - ▶ Initialization
    - ▶ Input
    - ▶ Submodels

Grimm *et al.* (2006)

# A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

## Overview

- ▶ Beschreibt Sinn und Zweck des Modells
- ▶ Gibt dem Leser die Grundlage für das Verständnis der Modellierung
- ▶ Warum wurden welche Aspekte der Realität berücksichtigt?
- ▶ Wie ist die Struktur des Modells?
- ▶ Welche Entitäten gibt es?
- ▶ Wie ist die temporale und spatiale Auflösung?

Grimm *et al.* (2006)



# A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

## Design Concepts

- ▶ Normalisierte Checkliste von Fragen
- ▶ Beispiel Fragen:
  - ▶ Emergence: Which system-level phenomena truly emerge from individual traits, and which phenomena are merely imposed?
  - ▶ Prediction: In estimating future consequences of their decisions, how do individuals predict the future conditions they will experience?
  - ▶ Collectives: Are individuals grouped into some kind of collective, e.g. a social group?

Grimm *et al.* (2006)

# A standard protocol for describing individual-based and agent-based models

## Details

- ▶ Wie wird die Simulation initialisiert?
- ▶ Wie werden die Entitäten der Simulation erstellt?
- ▶ Läuft die Initialisierung immer gleich ab, oder ändert sie sich zwischen Simulationsläufen?
- ▶ Regeln des Modells in mathematischer Darstellung

Grimm *et al.* (2006)

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

**Validation**

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

# Validierung von ökologischen Multi-Agenten-Simulationen

- ▶ In den meisten Fällen sehr Schwierig!
- ▶ Bei genügend komplexen Tieren nur durch "face-validation" durch Fachdomänen-Experten möglich (d.h. nicht automatisierbar, Beispiel: Jagdverhalten von Geparden)
- ▶ Validierung durch Vergleich mit empirischen Daten
- ▶ Würde den Rahmen dieses Vortrags sprengen.

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

**Frameworks**

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

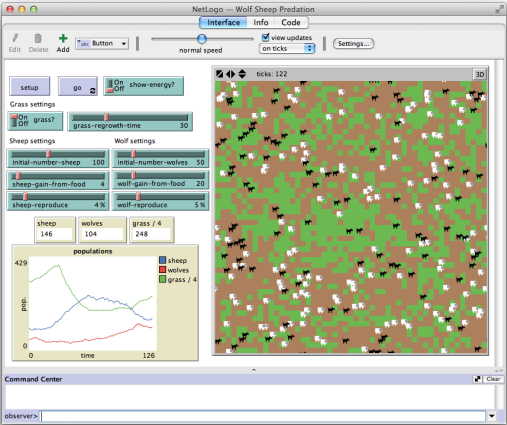
# Übersicht: Populärste Frameworks

- ▶ NetLogo  
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- ▶ Gama  
<http://code.google.com/p/gama-platform/>

# Vorteile beider Frameworks

- ▶ Gut dokumentiert!
- ▶ Seit langer Zeit in der Entwicklung
- ▶ Viele Beispiele
- ▶ Hohe Verbreitung
- ▶ Integrierte Optionen zur Visualisierung der Ergebnisse (inklusive Graphen und 3D Funktionalitäten)

# NetLogo



Quelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/5/5c/Netlogo-ui.png>



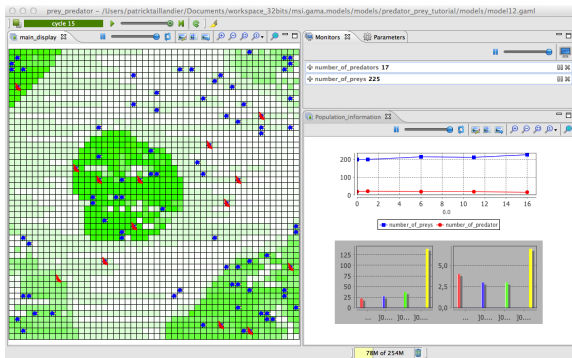
### Vorteile:

- ▶ Einfache Programmiersprache

### Nachteile:

- ▶ Nur eine Simulation zur Zeit möglich
- ▶ Implementierung nicht effizient → Nur eine geringe Anzahl von Agenten praktikabel

# Gama



Quelle: <http://code.google.com/p/gama-platform/wiki/PredatorPreyTutorial15>

# Gama

## Vor- und Nachteile

### Vorteile:

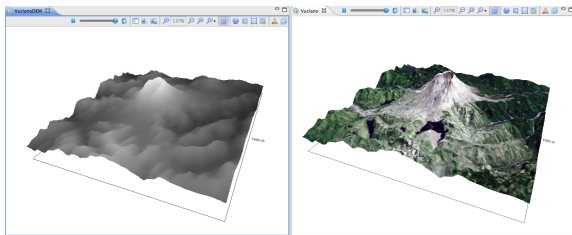
- ▶ Ausführung mehrerer paralleler Simulationsdurchläufe möglich
- ▶ Direkter Import von GIS-Daten möglich
- ▶ Hohe Anzahl (Millionen) an (einfachen) Agenten wird unterstützt
- ▶ ansehnliche Visualisierungen möglich

### Nachteile:

- ▶ Schlechte Fehlerbehandlung - stürzt bei einem Fehler in der Simulation meist komplett ab

# Gama

## Visualisierung



Quelle: <https://code.google.com/p/gama-platform/wiki/Gama3D16>

# Andere Frameworks

Übersicht weiterer Frameworks (eine ganze Menge!):

[`http://en.wikipedia.org/wiki/`](http://en.wikipedia.org/wiki/)

`Comparison_of_agent-based_modeling_software`

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

**Journals**

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur

## Journals zu diesem Thema

- ▶ Ecological Modelling - <http://www.journals.elsevier.com/ecological-modelling/>
- ▶ Journal of Theoretical Biology - <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-theoretical-biology/>
- ▶ Science of the Total Environment - <http://www.journals.elsevier.com/science-of-the-total-environment/>
- ▶ Trends in Ecology & Evolution - <http://www.cell.com/trends/ecology-evolution/>
- ▶ Ecological Informatics - <http://www.journals.elsevier.com/ecological-informatics/>

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

**Konferenzen**

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur



## Aktuelle Konferenzen zu diesem Thema

Übersicht über aktuelle Konferenzen:

[http://www.conferencealerts.com/  
topic-listing?topic=Ecology](http://www.conferencealerts.com/topic-listing?topic=Ecology)

- ▶ International Society for Ecological Modelling Conference (ISEM 2013) - [http://www.meteo.fr/cic/  
meetings/2013/ISEM/index.html](http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/ISEM/index.html)
- ▶ International Conference MPDE'13 Models in Population Dynamics and Ecology 2013 - <http://www.usf.uos.de/mpde13/>
- ▶ Animal Movement in Confined Space: from Space Use Patterns to Epidemic Spread - [https://wikis.bris.ac.uk/display/ANMwiki/  
Animal+movement+in+confined+space](https://wikis.bris.ac.uk/display/ANMwiki/Animal+movement+in+confined+space)

# Aktuelle Konferenzen zu diesem Thema

## Fragestellungen

Wie wirkt sich der Klimawandel auf unsere Umwelt aus und wie gehen wir damit um?

- ▶ Cascading impacts of climate change on coastal marine ecosystem and related goods and services
- ▶ The role of environmental variability in the dynamics of the South Pacific albacore tuna and potential impact of climate change
- ▶ Biotic turnover in tundra, forest and peatland ecosystems in permafrost regions of the Northern EuroAsia under climate change
- ▶ Developing an approach for Sweden and France for setting critical loads based on biodiversity in a time when management, pollution and climate change

- ▶ Linking makro and micro scales in a predator prey individual based model - Hugo Thierry
- ▶ A first spatially-explicit agent based model of jaguar population dynamics - Angela Watkins
- ▶ An integrated process of individual-based model calibration and quantitative evaluation: example of the forest dynamics model Samsara2 - Benoit Courbaud

- ▶ Individual-based modelling: emerging theories - Volker Grimm
- ▶ A transdisciplinary movement ecology approach for studying movement of organisms in changing environments - Ran Nathan
- ▶ Aggregation of variables in ecological systems with multiple scales: methods and applications - Jean-Christophe Poggiale

# Animal Movement in Confined Space: from Space Use Patterns to Epidemic Spread

## Relevante Vorträge

- ▶ Space and resource usage in an heterogeneous habitat - Guillermo Abramson
- ▶ Vulture movements are not scale invariant but differ across ecologically relevant spatial and temporal scales - Ran Nathan
- ▶ NOVA: an interactive graphics-scripting platform for computational research and analysis of ecological movement data using T-LoCoH methods - Wayne Getz

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

**Arbeitsgruppen**

Paper und weiterführende Literatur

# Arbeitsgruppen und führende Wissenschaftler

- ▶ D.L. DeAngelis - N/A † 1985
- ▶ Volker Grimm -  
<http://www.ufz.de/index.php?de=3679>
- ▶ Steven F. Railsback -  
[http://www.langrailsback.com/SFR\\_Res.html](http://www.langrailsback.com/SFR_Res.html)

# Agenda

Einführung

Motivation

Historie

Architektur von Multi-Agenten-Simulationen

Validation

Frameworks

Journals

Konferenzen

Arbeitsgruppen

Paper und weiterführende Literatur



# Papers und weiterführende Literatur

- ▶ Agent-based and individual-based modeling : a practical introduction / Steven F. Railsback and Volker Grimm
- ▶ Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? Grimm (1999)
- ▶ A standard protocol for describing individual-based and agent-based models Grimm *et al.* (2006)

**Fragen?**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**

# Literaturverzeichnis I

- a.D. Moore, Holzworth, D.P., Herrmann, N.I., Huth, N.I., & Robertson, M.J. 2007. The Common Modelling Protocol: A hierarchical framework for simulation of agricultural and environmental systems. *Agricultural Systems*, **95**(1-3), 37–48.
- DeAngelis, DL, Cox, DK, & Coutant, CC. 1980. Cannibalism and size dispersal in young-of-the-year largemouth bass: experiment and model. *Ecological Modelling*, **8**(1359), 133–148.
- Gamma, Erich, Helm, Richard, Johnson, Ralph, & Vlissides, John. 1994. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*.
- Grimm, Volker. 1999. Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecological Modelling*, **115**(2-3), 129–148.

## Literaturverzeichnis II

- Grimm, Volker, Berger, Uta, Bastiansen, Finn, Eliassen, Sigrunn, Ginot, Vincent, Giske, Jarl, Goss-Custard, John, Grand, Tamara, Heinz, Simone K., Huse, Geir, Huth, Andreas, Jepsen, Jane U., Jørgensen, Christian, Mooij, Wolf M., Müller, Birgit, Pe'er, Guy, Piou, Cyril, Railsback, Steven F., Robbins, Andrew M., Robbins, Martha M., Rossmanith, Eva, Rüger, Nadja, Strand, Espen, Souissi, Sami, Stillman, Richard a., Vabø, Rune, Visser, Ute, & DeAngelis, Donald L. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, **198**(1-2), 115–126.
- Hillyer, Charles, Bolte, John, van Evert, Frits, & Lamaker, Arjan. 2003. The ModCom modular simulation system. *European Journal of Agronomy*, **18**(3-4), 333–343.
- Holst, Niels. 2013. A universal simulator for ecological models. *Ecological Informatics*, **13**(Jan.), 70–76.

## Literaturverzeichnis III

- Papajorgji, Petraq, Beck, Howard W, & Braga, Jose Luis. 2004. An architecture for developing service-oriented and component-based environmental models. *Ecological Modelling*, **179**(1), 61–76.
- Villa, Ferdinando. 2001. Integrating modelling architecture: a declarative framework for multi-paradigm, multi-scale ecological modelling. *Ecological Modelling*, **137**(1), 23–42.
- Wenzel, Volker. 1992. Semantics and syntax elements of a unique calculus for modelling of complex ecological systems. *Ecological Modelling*, **63**(1-4), 113–131.
- Wooldridge, Michael (2002). 2002. *An Introduction to MultiAgent Systems*.