
„Schwärme(n) für Mathematik“

Simulierte Natur am Beispiel von Schwarmsystemen

Seminar im Rahmen des ‚Schnupperstudiums‘ der FH Köln

Martin Müller

05.04.05

Warum Simulation?

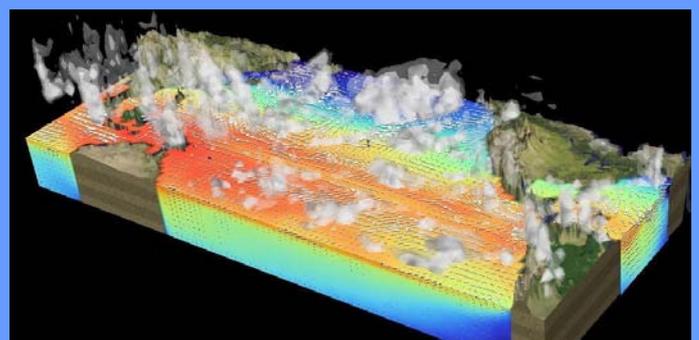
- Kostengünstig
- Einfach durchzuführen
- Beliebig oft zu wiederholen
- Schnelle Änderung von Parametern

Diese Eigenschaften machen Simulation zu einem wichtigen Werkzeug und Hilfsmittel in vielen Bereichen.

Ein Beispiel – Earth Simulator

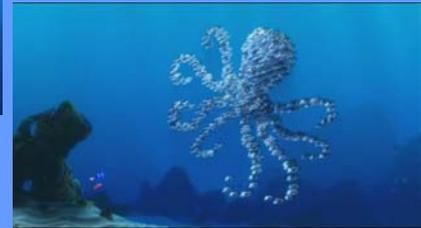
Großrechnersystem zur Simulation der Erdatmosphäre einschliesslich der Ozeane und Landmassen.

Man erhofft sich detailliertere Möglichkeiten zur Voraussage sowie effizientere Analysen durch den Einsatz einer ganzheitlichen Simulation.



Hier: Anwendung in der Computergraphik

Der Einsatz von Partikel- bzw. Schwarmssystemen als Vehikel zur Darstellung verschiedenster Phänomene ist Thema dieses Vortrages.

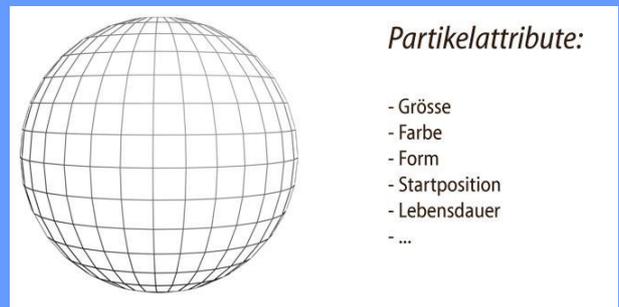
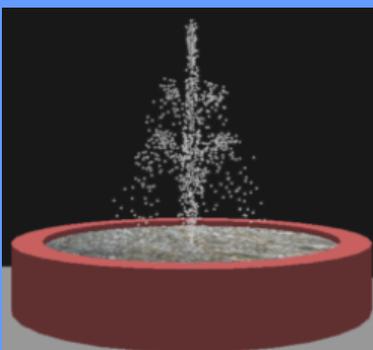


Wie das funktioniert und welchen Nutzen das hat werden wir später erörtern. Zunächst jedoch ein wenig Hintergrundwissen.

Was sind Partikelsysteme?

Vergleichsweise alte Technik der Computergraphik

Eignet sich zum Erzeugen / Simulieren von komplexen Erscheinungen wie Feuer, Wasser oder Rauch uvm.



Im Prinzip eine Ansammlung primitiver Partikel welche über einen Satz an Eigenschaften (Farbe, Größe, Form, Position) verfügen

Was sind Partikelsysteme?

Werden häufig eingesetzt (wenn auch oftmals in modifizierter Form) z.B. in Computerspielen und anderen Echtzeitumgebungen

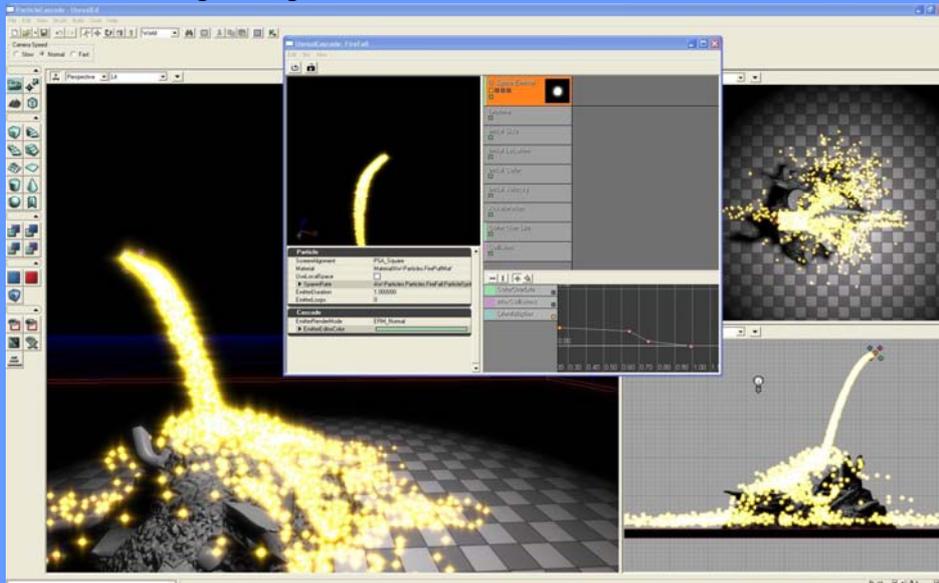


Abb.
Partikelsystem in
der ‚Unreal‘ –
Engine

Relativ geringer Rechenaufwand (gemessen am Nutzen).

Einsetzbar wenn traditionelle Modellierung und Animation versagen.

Vorbildfunktion: Wie und Warum bilden sich Schwärme?

bis in die 30er Jahre – Annahme von Gedankenübertragung bei Vögeln

60er Jahre – Sphärentheorie

80er Jahre – Simulationen am Rechner („Eurhythmy“, BOIDS)

Vereinigung zum Schwarm bietet Vorteile:

- Überlebensstrategien
 - Gruppe wirkt bedrohlicher
 - Verwirrung von Fressfeinden
 - Wahrscheinlichkeit angegriffen zu werden sinkt

- Effizienz als Gruppe
 - Spart Energie
 - Nahrungssuche wird erleichtert



Wozu soll man ein Schwarmsystem simulieren?

- wissenschaftliche Neugier (viele Erkenntnisse zum natürlichen Schwarmverhalten konnten erst durch den Einsatz von Simulationen gewonnen werden)
- geeignet für große Mengen von Elementen (vielerlei Einsatzmöglichkeiten)

Was haben Schwarm- und Partikelsysteme miteinander zu tun?

Schwarmsysteme sind eine spezielle Form von Partikelsystemen. Die Bestandteile des Systems sind in der Lage auf ihre Umwelt zu reagieren und ihre nächsten Schritte entsprechend zu beeinflussen. Hiermit lassen sich komplexere Zusammenhänge und Phänomene kontrollieren (und darstellen) als dies mit reinen Partikelsystemen der Fall ist.

Aus der Natur in den Rechner

Die beobachtbaren Eigenschaften eines Schwarmes sollen nun in einer computergraphischen Anwendung umgesetzt werden.

- Attribute des Schwarms werden festgehalten und abstrakt formuliert
- Ziel ist der Aufbau eines Modells welches die für unsere Zwecke wichtigen Eigenschaften besitzt
- das Modell ist eine mit mathematischen und algorithmischen Methoden beschriebene Repräsentation eines Schwarmes
- Steuerung der Simulation erfolgt über Parameter
- in diesem Fall für eine vergleichsweise klare Aufgabe entworfen, daher nicht universell einsetzbar

Grundlegender Regelsatz I

(nach Reynolds)

Der Autor der ursprünglichen Arbeit zu Schwarmsystemen, Craig W. Reynolds, führt die Fähigkeit erfolgreich zu ‚schwärmen‘ auf einen Satz simpler Regeln zurück, auf welchen das Modell aufbaut.

Diese Regeln werden von den jeweiligen Individuen (Vogel, Fisch) instinktiv befolgt und befähigen die Tiere zum Bilden vom Schwärmen.

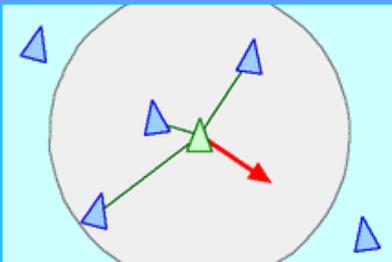
Sie werden als „Zwänge“ denen die Schwarmteilnehmer folgen müssen in ein Modell zur Simulation des Verhaltens eingebaut.

Im Folgenden wird auf die drei grundlegenden Regeln eingegangen.

Grundlegender Regelsatz II

(nach Reynolds)

1. Kollisionsvermeidung



„Halte einen Mindestabstand, um nicht mit deinen Nachbarn zu kollidieren.“

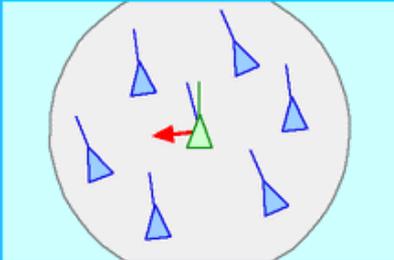
Objekte in unmittelbarer Umgebung (grauer Kreis) werden wahrgenommen

Reaktion auf Andere in eigener Flugbahn

Grundlegender Regelsatz III

(nach Reynolds)

2. Flug ausrichten



„Gleiche Geschwindigkeit und Flugrichtung denen deiner Nachbarn an.“

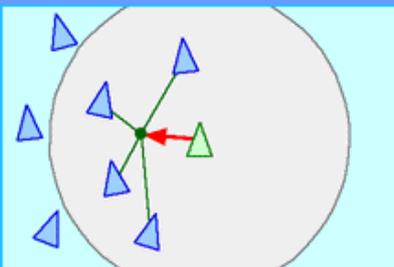
Position in der Menge wird beibehalten

Gerät der Einzelne an den Rand wird er u.U. Teil der Schwarmspitze

Grundlegender Regelsatz IV

(nach Reynolds)

3. Zentrieren



„Versuche inmitten deiner Nachbarn zu fliegen“

Schwarmteilnehmer versuchen (unter Beachtung der weiteren Regeln) möglichst immer von Artgenossen umgeben zu sein

Zu einem der Ränder abgedrängt zu werden bewirkt ein Gegensteuern, also den stärkeren Drang wieder in die Mitte zu gelangen

Schwarmintelligenz → Der mathematische Hintergrund

Kernstück des Modells ist eine mathematische Beschreibung der Regeln, welche den Ablauf der Simulation bestimmen.

Hier am Beispiel des ‚velocityUrge‘ (Drang die Geschwindigkeit an die der Nachbarn anzupassen)

Zuerst wird die Differenz der Eigengeschwindigkeit zu der der Nachbarn ermittelt und im Vektor $V1$ (velocityUrge) gespeichert. Anschliessend wird $V1$ normiert.

$$V1 = V1 / |V1|$$

Nun wird der normierte Vektor mit einer Konstante gewichtet welche die „Bedeutsamkeit“ des Zwanges ausdrückt.

$$V1 = V1 * velocityConstant$$

Mit den anderen Zwängen die auf einen Schwarmteilnehmer wirken wird ebenso verfahren. Die Summe aller so ermittelten Werte fliesst in die neue Beschleunigung (und Richtung) der Elemente ein.

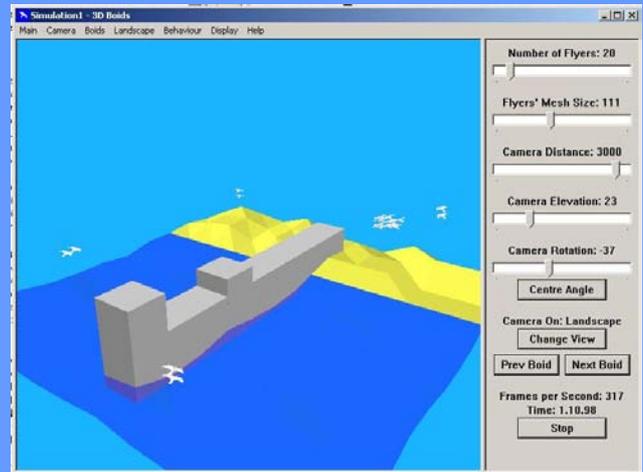
$$acceleration = (V1 + V2 + \dots + Vn)$$

Funktionsweise des Schwarms

- ein Schwarmteilnehmer entspricht einem Partikel
 - zu Beginn der Simulation wird die Umwelt mit einer vorgegebenen Menge an Teilnehmern bevölkert wobei Position und Orientierung zufällig ermittelt werden
 - sobald die Simulation läuft werden sich die einzelnen Agenten gemäss ihrer Zwänge im System umherbewegen und Entscheidungen basierend auf ihrer Umgebung treffen
- Schwärme werden gebildet, aufrechterhalten oder auch wieder zerfallen

Das System läuft nach Vorgabe der Startparameter selbstständig und dynamisch, gesteuert durch die mathematisch formulierte Logik der Regeln von Reynolds.

Schwarmsysteme in Aktion



Übung

Starten Sie die Anwendung 3D Boids („3DBoids“-Verknüpfung auf dem Desktop) auf ihrem Rechner.

Erhöhen Sie die Anzahl der Vögel auf ca. 50 und probieren Sie einige verschiedene Parameter für „Flocking Radius“ (Taste F4) aus.

Was ist zu beobachten?

Können Sie in Worten erklären was der Parameter „Flocking Radius“ bewirkt?

Beachten Sie ausserdem den Parameter „Flock Forming Distance“. Was geschieht wenn dieser Wert auf 0 gesetzt wird?

Können Sie die Einstellungen so verändern, dass sich ein V-Formationsflug ergibt?

Weblinks zum Thema

Craig W. Reynolds Webseite:

<http://www.red3d.com/cwr/boids/>

Zusammenfassung zu Reeves' Partikelsystemen:

<http://www.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/psys.html>

Allgemeines zu Schwarmsystemen:

<http://www.schwarmverhalten.de/>

Die BREVE Simulationsumgebung:

<http://www.spiderland.org/breve/>