

Georgios Sakas

Fraktale Wolken, virtuelle Flammen

Computer-Emulation und Visualisierung
turbulenter Gasbewegung

Mit 138 zum Teil farbigen Abbildungen

Technische Universität Darmstadt FACHBEREICH INFORMATIK B I B L I O T H E K Inventar-Nr.: <u>104-00850</u> Sachgebiete: _____ Standort: _____

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Prolog	1
1.1	Problemdarstellung	1
1.2	Ziele	2
1.3	Anwendungsgebiete	2
1.4	Organisation des Buches	5
2	Stand der Technik	7
2.1	Zum Begriff der Textur	7
2.1.1	Der Texturbegriff in verschiedenen Anwendungen	7
2.1.2	Textureinsatz in der Computergraphik	8
2.2	Definition zeitvarianter turbulenter Texturen	10
2.2.1	Gemessene und simulierte Felder	10
2.2.2	Partikelsysteme	12
2.2.3	Heuristische Funktionen	14
2.2.4	Fraktale	15
2.3	Visualisierung zeitvarianter Texturen	18
2.3.1	Visualisierung von 2D Texturfeldern	18
2.3.2	Visualisierung von 3D Texturfeldern (Volumentexturen)	20
2.3.2.1	Lokale Visualisierungsverfahren	21
2.3.2.2	Globale Visualisierungsverfahren	24
2.3.2.3	Visualisierung 3D wissenschaftlicher Daten	25
2.4	Auswertung, Mängel und Kritik	26
2.4.1	Auswertung der Generierungsmethoden	26
2.4.1.1	Gemessene und simulierte Felder	26
2.4.1.2	Partikelsysteme	28
2.4.1.3	Heuristische Funktionen	29
2.4.1.4	Fraktale	30
2.4.2	Auswertung der Visualisierungsmethoden	32
2.5	Begriffsbildung für die Visualisierungsverfahren	35
3	Statische Wolkenmodellierung	37
3.1	Motivation: Warum Fraktale?	37
3.2	Mathematische Grundlagen	40
3.3	Fraktaldefinition im Ortsbereich	44

3.3.1	Unabhängige Sprünge	44
3.3.2	Mittelpunkt Subdivision	45
3.3.3	Rescale-and-Add	46
3.4	Fraktaldefinition im Frequenzbereich	51
3.4.1	Grundlagen der Fourier-Transformation	51
3.4.1.1	Fourier-Reihe	52
3.4.1.2	Das Fourier-Integral	53
3.4.1.3	Diskrete Fourier-Transformation	54
3.4.1.4	Schnelle Fourier-Transformation	56
3.4.2	Spektrale Synthese	57
3.5	Ergebnisse und Diskussion	59
3.5.1	Unabhängige Sprünge	59
3.5.2	Mittelpunkt Subdivision	60
3.5.3	Rescale-and-Add	63
3.5.4	Spektrale Methode	64
4	Animationsmethoden zeitvarianter Texturen	67
4.1	Grundlagen der spektralen Turbulenztheorie	67
4.1.1	Was ist ein Wirbel?	72
4.2	Zeitvariante Fraktale im Frequenzbereich	73
4.2.1	Das verwendete Turbulenzmodell	73
4.2.2	Die Realisierung	76
4.3	Zeitvariante Fraktale im Ortsbereich	81
4.4	Ergebnisse und Diskussion	90
4.4.1	Vor- und Nachteile der spektralen Synthese	90
4.4.2	Vor- und Nachteile der funktionalen Methode (RAA)	95
4.4.3	Komplexität und Rechenaufwand	98
4.4.3.1	Statische Wolkengenerierung	99
4.4.3.2	Generierung beweglicher Wolken	100
4.4.4	Zusammenfassung und Vergleich beider Methoden	102
5	Visualisierung von Volumentexturen	105
5.1	Begriffsbildung und Taxonomie	105
5.1.1	Zum Begriff des Volumenobjektes	105
5.1.2	Taxonomie der Volumenvisualisierungsverfahren	106
5.2	Das Beleuchtungsmodell	108
5.2.1	Physikalische Grundlagen	108
5.2.2	Vereinfachung und Approximationen	109
5.2.3	Gleichungen für die Einfachreflektion	110
5.2.4	Die Blinn'sche Approximation	112
5.2.5	Paralleles Licht, Einfachreflexion, dünnes Medium	113
5.2.6	Einfachreflexion mit Selbstschattierung	116
5.2.7	Phasenfunktionen	119
5.3	Der Visualisierungsalgorithmus	120
5.3.1	Anforderungen	120
5.3.1.1	Das Renderingsystem	121

5.3.1.2	Das Beleuchtungsmodell	122
5.3.1.3	Mehrfache Objekte	122
5.3.2	Der Algorithmus	123
5.3.2.1	Streckenfestlegung	123
5.3.2.2	Streckenunterteilung	124
5.3.2.3	Traversierung und Abtastung	124
5.3.2.4	Beleuchtung und Ausgabe	125
5.3.3	Transparenz und Akkumulation	125
5.3.4	Konvexe und konkave Volumina	128
5.3.5	Fremdkörper innerhalb von Volumenobjekten	130
5.3.6	Mehrfache Volumenobjekte	132
5.3.7	Beobachter im Volumenobjekt	134
5.3.8	Berücksichtigung der Selbstschattierung	136
5.4	Texturabbildung (Mapping)	140
5.4.1	Definition	140
5.4.2	Verwendete Abbildungsmethode	142
5.5	Abtastung von Volumentexturen (Sampling)	145
5.5.1	Probleme der punktuellen Abtastung	145
5.5.2	Unterabtastung entlang der Blickrichtung	149
5.5.3	Fehlerhafte Berechnung der optischen Tiefe	151
5.5.4	Perspektivische Verzerrungsfehler	151
5.5.5	Streckenorientierte Abtastung	153
5.5.6	Volumenorientierte Abtastung	155
5.5.7	Berechnung des Abtastwürfels	156
5.5.8	Die DDA Initialisierung	159
5.5.9	Datenorganisation und -zugriff	162
5.5.10	Abtastung funktionaler Texturen	164
5.6	Ergebnisse	165
5.6.1	Vergleich der Abtasttechniken	165
5.6.2	Bewertung der Beleuchtungsmodelle	170
5.7	Zusammenfassung und Diskussion	171
6	Implementierungen	179
6.1	Grundlagen der parallelen Verarbeitung	179
6.1.1	Einführung	179
6.1.2	Das Gesetz von Amdahl	179
6.1.3	Die benutzte Hardware	180
6.2	Parallelisierung der spektralen Methode	182
6.3	Parallelisierung der funktionalen Methode	186
6.4	Interaktives Echtzeit-Modellierungssystem	187
6.4.1	Benutzungsoberfläche für die spektrale Methode	187
6.4.2	Benutzungsoberfläche der funktionalen Methode	189
6.5	Anwendungen im Bereich der Animation	190
6.6	Anwendungen bei der wissenschaftlichen Visualisierung	192
6.6.1	Einleitendes	192

6.6.2	Die allgemeine Volumenvisualisierungspipeline	193
6.6.3	Geometrische Konvertierung	195
6.6.4	Tiefenintegration	199
6.6.5	Berechnung der Bildpunktfarben	204
6.6.6	Filterung	207
6.6.7	Die Benutzungsoberfläche	210
6.6.8	Parallelisierung und Rechenzeiten	210
6.7	Zusammenfassung und Diskussion	212
7	Epilog	215
7.1	Zusammenfassung	215
7.2	Ausblick	218
8	Literatur	221
9	Anhang: Farbbildbeispiele	233