Algorithmic Echolocation

Installation für “Bankett: Metabolismus und Kommunikation”; ZKM Karlsruhe 15. Mai - 24. August 2003.

Informationsblatt zur Installation

- Konzept und wissenschaftlicher Entwurf: Ramon Guardans, Soundplots und Medialab Madrid
- Datenanalyse und graphische Programmierung: Adolf Mathias, ZKM | Institut für Grundlagenforschung.
- Klang-Entwicklung und Programmierung: Martin Schüttler, Götz Dipper, ZKM | Institut für Musik und Akustik.
- Entwurf des Installationsraumes und der Benutzerschnittstelle: Matthias Gommel, ZKM | Institut für Bildmedien.
- Graphikdesign: Renata Sas, Karlsruhe.

1 Hintergrund

Echo-Ortung (engl. echolocation) ist die von Delfinen, Walen, Eulen, Fledermäusen u.a. verwendete Methode, Wissen aufzubauen und die Änderungen in ihrer Umwelt zu entdecken und zu verstehen. Der Anwender der Echo-Ortung erzeugt ein Signal einer wiedererkennbaren Form und sendet es in die Umgebung. Die Interaktion des Signals mit der Umgebung erzeugt ein neues, modifiziertes Signal, das anschließend vom Sender analysiert wird. Durch Untersuchung der Unterschiede zwischen dem ursprünglich ausgesandten und dem empfangenen, veränderten Signal können innerhalb einer kurzen Zeitspanne Aspekte der Umgebung wie etwa Entfernung und relative Geschwindigkeit von Hindernissen oder potentieller Beute erfahren und beurteilt werden.

Echo-Ortung im vor-elektronischen Zeitalter wird mit Hilfe von Schall durchgeführt, wobei Muster erzeugt und analysiert werden, die sich in Form von Schallwellen mit hunderten von Metern pro Sekunde fortbewegen. Eine modernere Form der Echo-Ortung, die ziemlich getreu von Tieren kopiert wurde, ist Radar, bei dem die Trägerwellen elektromagnetischer Natur sind und sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen.

Algorithmen[1] sind geordnete Listen von Schritten in einer Prozedur, die übermittelt und mit gleichwertigen oder identischen Ergebnissen wiederholt werden können. Algorithmen werden benutzt, um komplexe und genau bestimmte Teilaufgaben mit einem Minimum an Fehlern zu wiederholen, wie z.B. in der Kochkunst (Rezepte sind Algorithmen), der Mathematik (e.g. Prozeduren zur Multiplikation und Lösung von Gleichungen), Informatik (ein Computerprogramm ist eine geordnete Ansammlung von Algorihmen), in der Landwirtschaft, der Seefahrt und der Musik.

“Algorithmic Echolocation” regt somit dazu an, die ursprüngliche “Technik” der Echo-Ortung als Metapher für detaillierte dynamische Wahrnehmung anzuwenden, indem die Signalverarbeitung algorithmisch wird. “Algorithmic Echolocation” ist der Vorgang, bei dem der Unterschied zwischen Eingangssignalen und unseren Erwartungen bestimmt wird, als Ursprung von Informationen über unsere Position und unseren Bewegungspfad. Die Signale, die aus dynamischen Systemen beispielsweise aus der Biologie, Astronomie oder Wirtschaftswissenschaft stammen, können in harmonische Anteile zerlegt werden. Die harmonische Analyse oder Digestion in harmonische Bestandteile bestimmt veränderliche Gewichtsanteile einer Reihe von Perioden oder Wellenlängen in der Zusammensetzung des Signals in aufeinanderfolgenden Zeitschritten.

Enorme Mengen von bio-geophysischen Daten sind verfügbar (aus Fernerkundung, Eis- und Sedimentbohrkernen, Baumringen, Netzwerken zur atmosphärischen und ozeanischen Überwachung usw.), die neue Erkenntnisse über die Evolution, Morphologie, und Wirkungsweise des planetarischen Ökosystems über viele Größenordnungen hinweg liefern. Die Verbesserung der Schnittstelle zu dynamischen Systemen wie der Umwelt, einem menschlichen Körper oder einer Firma ist von großem Interesse und Nutzen. Die Abbildung von Signalen über Ereignisse in Form von Bildern und Klängen ist ein Vorhaben mit langer Geschichte, und signifikante Änderungen haben sich in der Fähigkeit zur Analyse und Synthese dynamischer Muster, die in weiten Skalenbereichen ablaufen, ereignet. Diese Abbilder können nützliche Begleiter des Beobachters sein und zu Entscheidungen auf besser informierter Basis und zur Formulierung angemessener Fragestellungen verhelfen.

[1] Der Ausdruck Algorithmus stammt vom Beinamen Al-Khawarizimi eines Mathematikers, der im 11. Jahrhundert in Kwarezm in Usbekistan lebte und ein vortreffliches Buch schrieb, das zu einem zentralen Bestandteil der Geschichte der Mathematik wurde. Das Buch heißt Al-Jabr-wa-al-Muqabilah und besteht aus einer geordneten Sammlung von Verfahren zur Lösung unterschiedlicher mathematischer Probleme. Über Jahrhunderte hinweg wurden die Lösungen von Problemen in mathematischen Büchern mit der Wendung "Nach Al-Khawarizimi ..." eingeleitet.

2 Die Installation über den Vostok-Eisbohrkern

Die Installation präsentiert die harmonische Analyse von Zeitserien in Form von interaktiver, dynamischer Computergraphik, die die Daten begleitet. Die Konstruktion von Abbildungen, die unzugängliche Ereignisse beschreiben und in unseren Wahrnehmungsbereich bringen, ist ein seit jeher betriebenes Vorhaben. Karten, astronomische Tafeln und zahlreiche Formen von Almanachs haben dem Menschen dazu verholfen, sich in Raum und Zeit zurechtzufinden. Diese Anordnung zur algorithmischen Echo-Ortung ist das erste Ergebnis in einem Projekt zur Entwicklung von Werkzeugen zur Erkundung dynamischer Vorgänge in bio-geophysischen Signalen unterschiedlicher Form und Herkunft. Die harmonische Analyse der Signale wird in Form von Bildern und Klängen präsentiert, die der Benutzer mit einer Schnittstelle zur Kontrolle der zu untersuchenden Daten und des Abspieltempos erkunden kann. Die Installation ist eine Analyse einer wichtigen Spur des globalen Metabolismus, der Vostok-Daten. Diese Daten wurden aus einem Eisbohrkern aus der Antarktis gewonnen [2] und enthalten Informationen über die Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre über die letzten 420000 Jahre hinweg (420 ky, kilo years), was vier vollständigen Glazial-Interglazialzyklen entspricht. Die Messungen umfassen den Deuterium-Gehalt des Eises, der mit der lokalen Temperatur variiert, den Staubgehalt (Aerosole aus den Wüsten) sowie, aus der im Eis eingeschlossenen Luft, die Treibhausgase CO_2und CH_4 und der relative Gehalt von Sauerstoff-18 ($\delta^{18}O$) im atmosphärischen Sauerstoff, der die Änderungen im globalen Eisvolumen wiedergibt.

Ein großer Anteil der Änderungen im Erdklima tritt mit Periodizitäten im Gleichklang mit geringfügigen, regulären Schwankungen der Erdbewegung um die Sonne auf. Drei Hauptbestandteile beeinflussen die Gesamt-Sonneneinstrahlung, die Präzession (mit einem Zyklus von 20 ky), die Neigung der Erdachse zu ihrer Bahnebene (Zykluszeit 40 ky) sowie die Exzentrizität der Umlaufbahn. Der kombinierte Effekt dieser Faktoren auf die Sonneneinstrahlung wurde berechnet, und die Ergebnisse sind ähnlich zu den $\delta^{18}O$-Werten, die Hinweise auf das globale Eisvolumen geben und nicht in direktem Zusammenhang mit biologischer Aktivität stehen. Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) werden durch biologische Vorgänge beeinflusst und korrelieren über den gesamten Beobachtungszeitraum stark mit der Lufttemperatur, was auf eine wichtige Rolle der Biosphäre bei der Verstärkung der erzwungenen Kontrolle (engl. forcing) durch die Erdbahn im Bereich der Periodenlänge um 100 ky und bei den Enden der Interglazial-Perioden hindeutet. Die gegenwärtige atmosphärische Belastung mit diesen zwei wichtigen Treibhausgasen ist innerhalb der vergangenen 420000 Jahren offensichtlich niemals aufgetreten.

3 Die Methode zur harmonischen Analyse

Eine innovative Wavelet-Analyse, die die ursprünglichen, ungleichmäßig abgetasteten Daten verwendet, wird in regelmäßigen Intervallen durchgeführt, und Amplitude und Phase des Ergebnisses werden für den Frequenzbereich mit Perioden von 7ky bis 120ky dargestellt. In der Darstellung blickt der Betrachter auf die vergangene Zeit zurück, und kurze bis lange Perioden werden von links nach rechts dargestellt. Der Algorithmus zur Berechnung des Anteils mit einer gegebenen Wellenlänge zu einem bestimmten Zeitpunkt ist durch den Ausdruck

$$\zeta = \frac{\sum \mathbf{w}(s\,\omega(t-t_k))\, e^{-i\omega(t-t_k)}\, \xi_k}{\sum w(s\,\omega(t-t_k)))}$$

gegeben, wobei

- $\mathbf{w}$ die Gewichtsfunktion $\mathbf{w}(t) = 1 - 3|t|^2 + 2|t|^3$,
- s einen Skalierungsparameter (hier $s = 0.05$),
- t den Zeitpunkt im Bereich von 0 bis 420ky, an dem die Analyse durchgeführt wird,
- t_k (k von 0 bis $n-1$) die Zeitpunkte, an denen Messwerte gegeben sind,
- x_k die zugehörigen Variablenwerte (z.B. CO_2-Konzentration in ppm) zum Zeitpunkt t_k und
- ω die Kreisfrequenz, für die der Anteil berechnet wird, bezeichnet.

Zunächst wird im Vordergrund eine geometrische Repräsentation des spektralen Analysevorgangs für eine bestimmte Wellenlänge dargestellt. Dahinter werden für alle berechneten Wellenlängen die sich ergebenden Amplituden in Form von weißen Linien und die Phasen als rote Richtungszeiger in der Ebene dargestellt.

[2] Petit et al. 1999 Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399, 429-436. Die Veröffentlichung und die Daten sind erhältlich unter: http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v399/n6735/full/399429a0_fs.html.

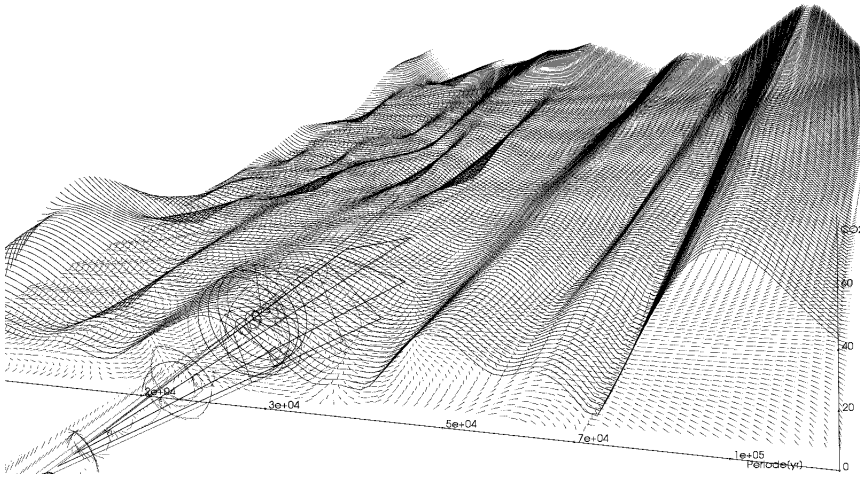

Abbildung 1: Harmonische Analyse der CO_2-Zeitserie.

4 Klangerzeugung

Der Klang wird in Echtzeit berechnet. Die Änderungen in den Bändern der Spektralanalyse werden unter Verwendung einer Kombination von additiver und subtraktiver Synthese als Klang rekonstruiert, wobei ein Klangspektrum entsteht, das sich in analoger Weise zu den Ergebnissen der harmonischen Analyse verhält. Die im Eis gemessenen Größen können als eine Art Melodie gehört werden, die durch Amplitude und Steigung der Daten, umgeformt in Klang mit Hilfe von Glissando und Frequenzmodulation, gesteuert wird. Wenn zwei Serien gleichzeitig untersucht werden, wird das Spektrum der Korrelation als Klang abgebildet, und beide Serien werden hörbar gemacht.

5 Die Benutzerschnittstelle

Der Benutzer kann an einem Bedienpult steuern, welche der 5 Serien oder welche Kombination er betrachten will, außerdem die Länge und Position des betrachteten Intervalls sowie das Abspieltempo, mit dem die Daten erkundet werden, und die Analysefrequenz der animierten Darstellung des harmonischen Analyse-Algorithmus. Zudem können mit einem weiteren Taster animierte Änderungen zwischen einer Reihe vordefinierter Perspektiven in der Visualisierung abgerufen werden.

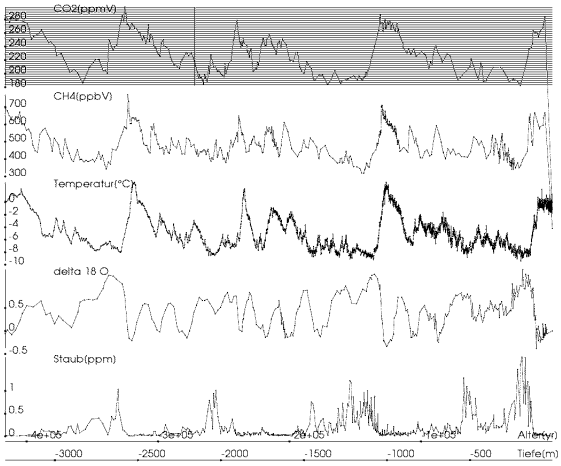

Abbildung 2: Anzeige der auswählbaren Zeitserien aus dem Vostok-Bohrkern.

Anerkennung:

Die Autoren möchten Anke Hoffman und Sabine Himmelsbach (ZKM | Ausstellungen) sowie Karin Ohlenschläger und Luis Rico (Medialab Madrid) für ihre Unterstützung und ihre wertvollen Beiträge danken. Algorithmic Echolocation ist eine Gemeinschaftsproduktion des ZKM, des Medialab Madrid und von Soundplots.

Liste der Mitwirkenden:

Ramon Guardans, Biologe (Spanien), wurde 1950 geboren. Er graduierte in Biologie an der Universität von Barcelona und arbeitete von 1978 bis 1983 in der Abteilung für chemische Physik der Freien Universität Brüssel, gemeinsam mit unter anderen R. Margalef, I. Prigogine, S. Pahaut, K. Chemla und F. Bray. Von 1983 bis 1987 arbeitete er als Wissenschaftler im Umweltschutz-Service der katalanischen Regionalregierung in Barcelona. Von 1987 bis 2000 arbeitete er am Institut für Strahlenschutz in der Forschungsgruppe für Ökotoxikologie der Luftverschmutzung im Forschungszentrum für Energie, Umwelt und Technologie (CIEMAT) des Ministeriums für Wissenschaft und Technologie in Madrid. Seit 1993 fungiert er als Vizepräsident der Arbeitsgruppe für Auswirkungen (LRTAP) bei den Vereinten Nationen und ist Mitglied der GESAMP (joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) der Vereinten Nationen. Er trug als wissenschaftlicher Berater zum frühen Werk von La Fura dels Baus bei, und arbeitete mit den Künstlern Sergio Caballero und Marcel-li Antúnez.

Adolf Mathias, Informatiker (Deutschland), wurde 1966 geboren. Er studierte Informatik an der Universität Karlsruhe und schloss mit Diplom 1994 ab. Er arbeitete seit 1994 im Institut für Bildmedien des ZKM, wo er für die Software-Umsetzung zahlreicher auf Virtual Reality basierender Kunstprojekte verantwortlich war. Seit 2001 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ZKM-Institut für Grundlagenforschung tätig und befasst sich mit der Erforschung nichtlinearer Systeme und der Entwicklung von Software zur Visualisierung und Analyse wissenschaftlicher Daten. Er war Autor und Mitwirkender einiger Arbeiten, unter anderem für “Steirischer Herbst”, Graz 2001, und das ZKM-Medienmuseum.

Martin Schüttler, Komponist (Germany), wurde 1974 geboren. Er studierte bei Diego Feinstein in Kassel und bei Nicolaus A. Huber und Ludger Brümmer an der Folkwang-Hochschule in Essen. Seit 2000 arbeitet er als Gastkünstler am ZKM. Er lehrt außerdem Musiktheorie an der Hochschule für Musik und darstellende Künste, Frankfurt/Main. Seine Arbeiten umfassen Kompositionen für Soloinstrumente, Ensembles und Orchester. Er hat Filmmusik komponiert und Klanginstallationen entwickelt. Seine Arbeiten wurden mit mehreren Preisen ausgezeichnet, darunter der Kranichsteiner Musikpreis der Darmstädter Ferienkurse 2002.

Matthias Gommel, Designer (Deutschland), wurde 1970 geboren. Er studierte Ausstellungsdesign und Medienkunst an der Hochschule für Gestaltung Karlsruhe. Er erstellte mehrere Installationen, unter anderem für die Kunsthalle in Düsseldorf, den deutschen Pavillon bei der Expo 2000 in Hannover und das ZKM. Als Gründungsmitglieder der Künstlergruppe robotlab war er Mitautor von Installationen und Performances, die auf Festivals und Ausstellungen in Europa, Asien und Nordamerika präsentiert wurden. Gegenwärtig ist er Gastkünstler am ZKM | Institut für Bildmedien.

Götz Dipper, Musiker (Deutschland), wurde 1966 geboren. Er studierte Cello an den Musik-Akademien Hannover und Salzburg (Mozarteum). Später befasste er sich intensiv mit Computermusik und Informatik. Seit 2001 arbeitet er als Systemadministrator am Institut für Musik und Akustik des ZKM.

Renata Sas, Graphik-Designerin (Deutschland) wurde 1972 geboren. Sie studierte an der Kunstakademie Warschau und an der HfG, Karlsruhe. Sie arbeitete an Graphiken für: "Kathedrale und Kraftwerk", Galerie Aedes East, Berlin, 1999; interaktive Terminals für Automobility, Vitra Design Museum, Weil am Rhein 2000, interaktive Animation für das Design-Center Stuttgart, gezeigt auf der EXPO 2000. Ausstellungen (Auswahl): file.org, Sao Paulo, 2001; Fotografie, Stadt-Museum, Groningen 2002, Transmediale, Berlin 2002; Lothringer 13, München (alle in Kollaboration mit Claudius Boehm).