

# Algorithmic Echolocation

7th September 2003

Documentación /Handout / Informationsblatt /

## Ecolocación Algorítmica

Nota sobre la instalación presentada en:

“Bankett: Metabolismus und Kommunikation”; ZKM Karlsruhe 15 Mayo - 24 Agosto 2003

“Banquete: Metabolismo y Comunicación”; Centro Cultural Conde Duque, Medialab. Madrid 24. Septiembre - 23 Noviembre 2003

- Concepto y diseño científico: Ramon Guardans, Soundplots y Medialab Madrid
- Análisis de datos y programación de gráficos: Adolf Mathias, ZKM | Institut für Grundlagenforschung.
- Desarrollo y programación de sonido: Martin Schüttler, Götz Dipper, ZKM | Institut für Musik und Akustik.
- Diseño del espacio y la interface: Matthias Gommel, ZKM | Institut für Bildmedien.
- Diseño gráfico: Renata Sas, Karlsruhe.

### Antecedentes

Ecolocación es el método que utilizan los delfines, las ballenas, los búhos, los murciélagos y otros para construir conocimiento, explorar, comprender los cambios en su entorno. El individuo que utiliza ecolocación produce una señal de forma reconocible y la emite al medio. La interacción de la señal con el medio produce una nueva señal modificada que el individuo analiza. Estudiando las diferencias entre la señal emitida en origen y la señal modificada que recibe el individuo puede “aprender”, “evaluar” en un breve intervalo de tiempo elementos de su entorno como la distancia y velocidad relativa de obstáculos o presas potenciales.

La ecolocación pre-electrónica se hace con sonido, produciendo y analizando tramas sonoras que se desplazan en aire o agua a cientos de metros por segundo. Una forma más reciente de ecolocación, literalmente copiada de los animales, es el radar donde las ondas portadoras de la señal son electromagnéticas y se desplazan a la velocidad de la luz.

Algoritmos<sup>1</sup> son listas ordenadas de pasos en un procedimiento que se puede comunicar y repetir con resultados similares o idénticos. Se utilizan algoritmos para repetir tareas complicadas y precisas con un mínimo de errores, como en la cocina (las recetas son algoritmos) en matemáticas (p.ej. el procedimiento para hacer una multiplicación, para resolver una ecuación) en cálculo, (un programa de ordenador es un rebaño de algoritmos), en la agricultura, en la navegación, en música.

---

<sup>1</sup>El termino Algoritmo procede del nombre Al-Khwarizimi de un matemático que vivió en Kwarezm en Uzbekistán en el siglo 9 (780 -850, 1153 y BP) escribió un gran libro que se convirtió en una pieza central de la historia de las matemáticas. El título del libro es Al-Jabr-wa-al-Muqabilah y consiste en una colección ordenada de recetas para resolver distintos tipos de problemas matemáticos. Durante siglos los libros de matemáticas presentaban la solución de un problema encabezada con la frase “según dijo Al-Khwarizimi...”

Así pues, ecolocación algorítmica sugiere la idea de utilizar la antigua “técnica” de ecolocación como metáfora para una percepción dinámica detallada en la que el procesamiento de señales es con algoritmos. Ecolocación algorítmica es el acto de leer la diferencia entre las señales que nos llegan y lo que suponemos previsible como fuente de información acerca de nuestra posición y nuestra trayectoria. Las señales que se registran de sistemas dinámicos, como en biología, astronomía o en economía, pueden descomponerse en una serie de armónicos. El análisis armónico, o digestión en componentes armónicos, atribuye pesos distintos a una serie de periodos, frecuencias o longitudes de onda en intervalos sucesivos.

Grandes cantidades de señales biogeofísicas nuevas están disponibles (procedentes de sensores y satélites, de testigos en sedimentos, en glaciares, de los anillos de los árboles, de redes de medida oceanográficas y atmosféricas, etc) que contienen informaciones nuevas e importantes sobre la evolución, morfología y modos de acción del ecosistema planetario, actuando sobre un amplio margen de escalas. Mejorar el acceso y la interacción (interfaz) con procesos dinámicos como el medio, un cuerpo humano, o un sector económico es interesante y útil. Inscribir señales acerca de los acontecimientos en imágenes y sonidos es una actividad antigua, se han producido cambios significativos en la capacidad para el análisis y la síntesis de procesos dinámicos en un amplio margen de escalas. Estos simulacros pueden ser entretenidos para la persona que observa y eventualmente ayudarla a tomar decisiones mejor informada y estimular preguntas pertinentes.

## **Instalación sobre el testigo de hielo de Vostok, Antártico.**

La instalación presenta el análisis armónico de varias series temporales en gráficos dinámicos e interactivos contemporáneos a los datos. La construcción de proyecciones para describir acontecimientos remotos y acercarlos a nuestros rangos de percepción es una actividad antigua: mapas, tablas astronómicas y múltiples formas de almanaques han ayudado a la gente a encontrar caminos en el espacio y en el tiempo. Esta instalación de Ecolocación Algorítmica es el resultado inicial de un proyecto para desarrollar una herramienta capaz de explorar formas dinámicas en señales biogeofísicas de distintos orígenes. El análisis armónico de las señales se presenta en imágenes y sonidos que la/el usuaria/o puede explorar utilizando una interfaz para seleccionar los datos a observar y el “tempo” de reproducción. La instalación presenta el análisis de una traza importante del metabolismo global, los datos de Vostok. Estos datos fueron obtenidos de un testigo de hielo en la Antártica<sup>2</sup> y contienen información sobre los cambios en la composición química de la atmósfera en los últimos 420 000 años (420ky) documentando cuatro ciclos glacial-interglacial completos. Las medidas incluyen el contenido en deuterio del hielo, que es un buen indicador (“proxi”) de la temperatura local, el contenido en polvo (aerosoles no marinos) y del aire atrapado en el hielo las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y δ<sup>18</sup>O (‰) de O<sub>2</sub> atmosférico que refleja los cambios en el volumen total de hielos.

Gran parte de la variabilidad climática ocurre con periodicidades que corresponden con variaciones regulares en los parámetros de la trayectoria del planeta alrededor del sol, estas variaciones se describen en gran medida con tres componentes: la precesión (con un ciclo de 20ky) la oblicuidad (40ky) y la excentricidad de la órbita (100ky). El efecto combinado de estos tres factores en la cantidad total de energía solar ha sido calculada y los resultados de los cálculos se parecen notablemente a la serie de δ<sup>18</sup>O que da una indicación del volumen total de hielo y no tiene una relación directa con actividad biológica. Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) están controladas por la actividad biológica y muestran fuerte correlación con la temperatura local durante todo el periodo, sugiriendo un importante papel de la biosfera en la amplificación del ciclo de 100ky y las terminaciones glaciares. Las concentraciones actuales de estos dos gases invernadero parecen ser mucho más altas de lo que han sido en los últimos 420ky.

## **Método de análisis Armónico**

Se ha desarrollado un método innovador basado en el análisis con ondículas capaz de utilizar las series originales muestreadas en intervalos irregulares, se presentan la parte real (amplitud) y la parte imaginaria (fase) para distintas bandas de frecuencias (periodos de 7 ky a 120 ky). El análisis armónico de los datos de Vostok se lleva a cabo en intervalos regulares con el análisis de ondículas. En la imagen, el tiempo corre del observador hacia adelante, las frecuencias bajas a la izquierda y las frecuencias altas a la derecha. El algoritmo utilizado para calcular la importancia de una determinada longitud de onda en cada intervalo de tiempo se describe con la expresión

---

<sup>2</sup>Petit et al. 1999 Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399, 429-436. The paper and the data are available from: [http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v399/n6735/full/399429a0\\_fs.html](http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v399/n6735/full/399429a0_fs.html).

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

donde

- $w$  es la función que distribuye el peso,  $w(t) = 1 - 3|t|^2 + 2|t|^3$ .
- $s$  es el parámetro de escala, aquí  $s = 0.05$ .
- $t$  es la posición temporal en la que se realiza el análisis y varía de 0 a 420ky.
- $t_k$  ( $k$  de 0 a  $n - 1$ ) son los puntos temporales incluidos en el intervalo para los que se dispone de datos.
- $x_k$  es el valor de la variable (p.ej. CO<sub>2</sub> concentración en ppm) en el momento  $t_k$ .
- $\omega$  es la frecuencia circular para la que se estima el peso.

En el gráfico se ve en primer plano una representación geométrica del cálculo del análisis espectral para una longitud de onda. Detrás se va extendiendo la superficie que representa con líneas blancas la amplitud del espectro para todas las longitudes de onda e intervalos de tiempo. La fase de cada longitud de onda se representa con flechas rojas en el plano.

## Generación del sonido

El sonido se calcula en tiempo real. Los cambios en la amplitud de las distintas bandas del análisis espectral se reconstruyen en sonido utilizando una combinación de síntesis aditiva y sustractiva con la que se obtiene un espectro que varía en forma análoga a los resultados del análisis armónico. Los datos medidos en el hielo se pueden oír en forma de una melodía llevada por el valor del dato y la pendiente en aquel punto, representadas en sonido mediante modulación de frecuencia y glissando. Cuando se consideran dos series a la vez, se oye el espectro de la correlación y las dos series de datos.

## Interfaz

La instalación se controla con una interfaz en la que se elige cuál de las cinco series o combinación de 2 series se va a observar, la longitud y posición del intervalo y el tempo con el que se exploran los datos.

## Agradecimientos :

Los autores quieren agradecer a Anke Hoffman y Sabine Himmelsbach, ZKM | Ausstellungen, y a Karin Ohlenschläger and Luis Rico, Medialab Madrid su apoyo y sugerencias . Algorithmic Echolocation es una producción conjunta de ZKM, Medialab Madrid y Soundplots.

# Algorithmic Echolocation

Note in the Installation presented at:

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

“Banquete: Metabolismo y Comunicación”; Centro Cultural Conde Duque, Medialab. Madrid 24. Septiembre - 23 Noviembre 2003

- Concept and scientific outline: Ramon Guardans, Soundplots and Medialab Madrid
- Data analysis and graphics programming: Adolf Mathias, ZKM | Institut für Grundlagenforschung.
- Sound development and programming: Martin Schüttler, Götz Dipper, ZKM | Institut für Musik und Akustik.
- Design of installation space and interface: Matthias Gommel, ZKM | Institut für Bildmedien.
- Graphic design: Renata Sas, Karlsruhe.

## Background

Echolocation is the method used by dolphins, whales, owls, bats and others to build knowledge, to explore, to understand, the changes in their environment. The individual who uses Echolocation, produces a signal of a recognizable form and broadcasts it to the environment. The interaction of the signal with the environment produces a new, modified signal that is then analyzed by the individual. Studying the differences between the original emitted signal and the received modified signal the individual can in a short time interval "learn", "assess" elements of its environment such as the distance and relative speed of obstacles or potential prey.

Pre-electronic echolocation is done with sound, producing and analyzing patterns in sound waves traveling in water or air at hundreds of meters per second. A more recent form of echolocation, quite literally copied from animals, is radar, where the carrier waves are electromagnetic and travel at the speed of light.

Algorithms<sup>3</sup> are ordered lists of steps in a procedure that can be communicated and repeated with similar or identical results. Algorithms are used to repeat complicated and precise tasks with a minimum of errors as in cooking (recipes are algorithms), Mathematics (e.g. Procedure to do a multiplication, solve an equation) computing (a computer program is a herd of algorithms), in agriculture, navigation, music.

Algorithmic Echolocation thus suggests the idea of using the ancient "technique" of echolocation as a metaphor for detailed dynamic perception, making the signal processing algorithmic. Algorithmic echolocation is the action of reading the distance between the incoming signals and our expectations as a source of information about our position and trajectory. The signals recorded from dynamical systems such as in biology, astronomy or economics can be decomposed in harmonic pieces. The harmonic analysis or digestion in harmonic pieces, attributes varying weights to a range of periods or wavelengths in the composition of the signal at successive time intervals.

There are vast amounts of new bio-geo-physical data available (from remote sensing, ice and sediment cores, tree rings, atmospheric and oceanic monitoring networks, etc.) providing new insights into the evolution, morphology and modes of action of the planetary ecosystem performing over a wide range of scales. Improving the interface with dynamical systems such as in the environment, a human body or a company is interesting and useful. Inscribing signals about events in images and sounds is an ancient activity, significant changes have intervened in the capacity for analysis and synthesis of dynamic patterns evolving over a wide range of scales. These simulacra can provide useful company to the observer and eventually help her/him to make more informed choices and stimulate pertinent questions.

---

<sup>3</sup>The term Algorithm comes from the name Al-Khawarizimi of a mathematician who lived in Kwarezm in Uzbekistan in the 9th century (780 -850, approx 1153 yBP) and wrote a great book which became a centerpiece of the history of mathematics. The book is called Al-Jabr-wa-al-Muqabilah and consists of an organized collection of recipes to solve different types of mathematical problems. For centuries mathematical books would introduce the solution to a problem with the sentence "following Al-Khawarizimi ..."

## Installation on the Vostok Ice Core

The installation presents the harmonic analysis of time series in interactive dynamic graphics contemporary to the data. The construction of projections to describe remote events and bring them to our perception range is an ancient activity, maps, astronomical tables and multiple forms of almanacs have helped humans to find ways in space and time. This Algorithmic Echolocation setup is the initial result of a project to develop a tool to explore dynamic features in biogeophysical signals of different origins and forms. The harmonic analysis of the signals is presented in images and sounds that the user can explore using an interface to choose the data to observe and the rendering tempo. The installation is an analysis of an important trace of the global metabolism, the Vostok data. These data were obtained from an ice core in Antarctica<sup>4</sup> and contain information about the changes in the chemical composition of the atmosphere over the last 420 000 years (420ky) covering 4 complete glacial-interglacial cycles. The measurements include the deuterium content of the ice, a proxy of local temperature, the dust content (desert aerosols) and from the air entrapped in the ice the greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and the  $\delta^{18}\text{O}$  of atmospheric O<sub>2</sub> which reflects the changes in the global ice volume.

Much of the variability in the earth climate occurs with periodicities corresponding to that of slight and regular modifications of the way the earth moves around the sun, three main features define the total incoming solar radiation, precession (with a cycle of 20ky), obliquity (40ky) and eccentricity (100ky). The combined effect of these factors on insolation has been calculated and the results of the calculation are similar to the values of  $\delta^{18}\text{O}$  that give an indication of global ice volume and have no direct relation with biological activity. Atmospheric concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) are controlled by biological activity and correlate well with air temperature throughout the record, suggesting an important role of the biosphere in the amplification of the impact of orbital forcings on temperature in the 100 ky range and the interglacial terminations. Present-day atmospheric burdens of these two important greenhouse gases seem to have been unprecedented during the past 420,000 years.

## Harmonic Analysis Method

An innovative wavelet analysis able to use the original unevenly sampled data is performed at regular time intervals and the real part (amplitude) and the imaginary part (phase) are displayed for various frequency bands (periods of 7ky to 120ky). The harmonic analysis of the Vostok data is carried out at regular intervals by a wavelet analysis. In the image time runs from the observer forward and high to low frequencies are displayed from left to right. The algorithm to calculate the importance of a given wavelength at a given time interval is described by the expression

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

where

- $\mathbf{w}$  is the weighting function,  $\mathbf{w}(t) = 1 - 3|t|^2 + 2|t|^3$ .
- $s$  is the scaling parameter, here  $s = 0.05$ .
- $t$  is the time point at which the analysis is carried out, and varies from 0 to 420ky.
- $t_k$  ( $k$  from 0 to  $n - 1$ ) are the time points included in the interval for which there are data.
- $x_k$  is the value of the variable (eg CO<sub>2</sub> concentration in ppm) at time  $t_k$ .
- $\omega$  is the circular frequency for which the weights are estimated.

The graphic displays first (in front) a geometrical representation of the computation of the spectral analysis for one wavelength. Behind it the resulting amplitude of the spectrum for all the computed wavelengths at each time step are displayed as white lines. The phase is displayed as the direction of the red arrows on the plane for each wavelength or frequency.

<sup>4</sup>Petit et al. 1999 Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399, 429-436. The paper and the data are available from: [http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v399/n6735/full/399429a0\\_fs.html](http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v399/n6735/full/399429a0_fs.html).

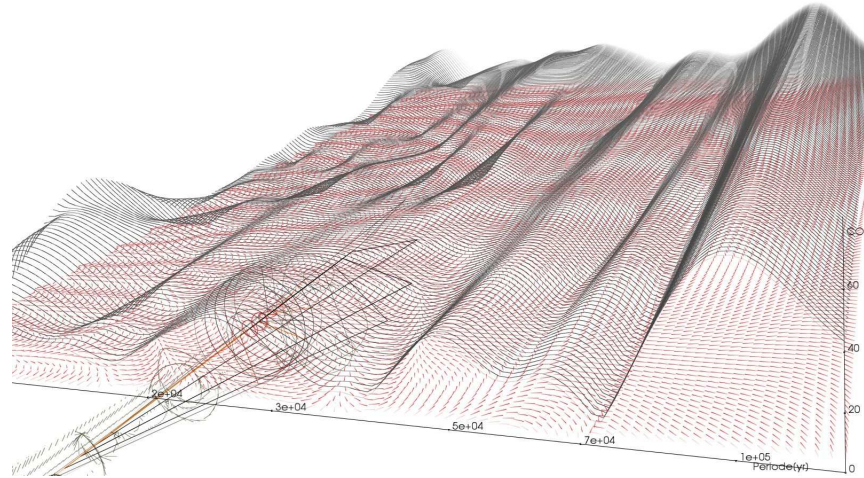


Figure 1: Harmonic analysis of the CO<sub>2</sub> time series.

## Sound Generation

The sound is calculated in real time. The changes in the amplitudes of the bands of the spectral analysis are reconstructed in sound using a combination of additive and subtractive synthesis obtaining in this way a spectrum that changes in a way analogous to the results from the harmonic analysis. The quantities measured in the ice can be heard through a kind of melody driven by the data value and the slope, transported into sound with the help of glissando and frequency modulation. When two series are considered at the same time the spectrum of the correlation is projected into sound and the two series are made audible.

## User Interface

The user can control with an interface which of the 5 series or combinations of two series to observe, the length and position of the observed interval and the tempo at which the data are explored.



Figure 2: The instalation in ZKM may 2003. Images M.Gommel.

### **Acknowledgements :**

The authors would like to thank Anke Hoffman and Sabine Himmelsbach, ZKM | Ausstellungen, and Karin Ohlenschläger and Luis Rico, Medialab Madrid, for their support and valuable contributions. Algorithmic Echolocation is a joint production of ZKM, Medialab Madrid and Soundplots.

### **Contributors:**

Ramon Guardans, biologist (Spain). Born in 1950, he graduated in Biology from the University of Barcelona and worked at the Chemical Physics Department of the Free University of Brussels from 1978 to 1983, collaborating with R. Margalef, I. Prigogine, S. Pahaut, K. Chemla and F. Bray, among others. From 1983 to 1987, he worked as a scientist at the Environmental Protection Service of the Catalan Regional Government in Barcelona. From 1987 to 2000 he worked at the Institute of Radiological Protection in the research group of ecotoxicology of air pollution at the Research Center for Energy, Environment and Technology (CIEMAT) of the Ministry of Science and Technology in Madrid. Since 1993, he has served as Vice President of the Working Group on Effects (LRTAP)

at the United Nations and he has been a member of GESAMP. He collaborated as scientific advisor in the early work of La Fura dels Baus, and with the artists Sergio Caballero and Marcel-li Antúnez.

Adolf Mathias, computer scientist (Germany). Born in 1966, he studied Computer Science at the University of Karlsruhe where he graduated with a diploma in 1994. He has been working in the Institute of Visual Media at the ZKM since 1994, and was responsible for the software implementation of numerous virtual-reality art projects. Since May, 2001, he has been working as a research associate in the ZKM Department of Basic Research into non-linear systems and the design of software for the visualization and processing of scientific data. He has collaborated on several works for Steirischer Herbst, Graz 2001, and the ZKM Media Museum, among others.

Martin Schüttler, music composer (Germany). Born in 1974, he studied with Diego Feinstein in Kassel and with Nicolaus A. Huber and Ludger Brümmer at the Folkwang Hochschule in Essen. Since the year 2000, he has worked as Guest Artist at the ZKM. He also teaches Theory of Music at the Hochschule für Musik und Darstellende Künste Frankfurt/Main. His works include compositions for solo instruments, ensembles and orchestra. He has composed music for films and developed sound installations. His work has received several prizes including the Kranichsteiner Musikpreis der Darmstädter Ferienkurse 2002.

Matthias Gommel, designer (Germany). Born in 1970, he studied exhibition design and media arts at the HfG Academy for Arts and Design Karlsruhe. He created several installations for, among others, the Kunsthalle in Düsseldorf, the German Pavillion at the Expo 2000 in Hannover, and the ZKM. As a founding member of the artist group robotlab he authored installations and performances which have been shown on festivals and exhibitions in Europe, Asia and North America. He is currently artist in residence at the ZKM Institut für Bildmedien.

Götz Dipper, musician (Germany). Born in 1966, he studied Cello at the Music Academy in Hannover and Salzburg (Mozarteum). Later he worked intensively on computer music and information science. Since 2001 he has been working as systems administrator at the Institut für Musik und Akustik of the ZKM in Karlsruhe.

Renata Sas, graphic designer (Germany). Born in 1972, she studied at Art Academy Warsaw, and at HfG, Karlsruhe. She has worked on graphics for: "Kathedrale und Kraftwerk", Galerie Aedes East, Berlin, 1999; interactive terminals for Automobility, Vitra Design Museum, Weil am Rhein 2000, interactive animation for Design Center Stuttgart at EXPO 2000. Exhibitions, (selection) file.org, Sao Paulo, 2001; Fotografie, Stadt-Museum, Groningen 2002, Transmediale, Berlin 2002; Lothringer 13, München (all in collaboration with Claudius Boehm).



# Algorithmic Echolocation

Informationsblatt zur Installation in

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

“Banquete: Metabolismo y Comunicación”; Centro Cultural Conde Duque, Medialab. Madrid 24. Septiembre - 23 Noviembre 2003

- 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<sup>5</sup> 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 (z.B. Prozeduren zur Multiplikation und Lösung von Gleichungen), Informatik (ein Computerprogramm ist eine geordnete Ansammlung von Algorithmen), 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

---

<sup>5</sup>Der Ausdruck Algorithmus stammt vom Beinamen Al-Khawarizimi eines Mathematikers, der im 9. Jahrhundert (780 bis 850) in Kwarezm (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.

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.

## 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<sup>6</sup> und enthalten Informationen über die Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre über die letzten 420 000 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<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> und der relative Gehalt von Sauerstoff-18 (δ<sup>18</sup>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 δ<sup>18</sup>O-Werten, die Hinweise auf das globale Eisvolumen geben und nicht in direktem Zusammenhang mit biologischer Aktivität stehen. Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) 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 420 000 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

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

gegeben, wobei

- $w$  die Gewichtsfunktion  $w(t) = 1 - 3|t|^2 + 2|t|^3$ ,
- $s$  einen Skalierungsparameter (hier  $s = 0.05$ ),

---

<sup>6</sup>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?fi le=nature/journal/v399/n6735/full/399429a0\\_fs.html](http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?fi le=nature/journal/v399/n6735/full/399429a0_fs.html).

- $t$  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<sub>2</sub>-Konzentration in ppm) zum Zeitpunkt  $t_k$  und
- $\omega$  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.

Figure 3: Harmonische Analyse der CO<sub>2</sub>-Zeitreihe.

## 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.

Figure 4: 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 (Deutschland), 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).