

# Navegación mediante Evolución de Redes Neuronales Recurrentes y Dinámicas

Tesis Doctoral dirigida por Blanca Cases y Alvaro Moreno Bergareche

Pablo González Nalda

Depto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos

10 de octubre de 2008

## Introducción

### CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Objetivo: desarrollo exploratorio de la Robótica Evolutiva con fines técnicos.

Marco teórico verificado experimentalmente.

Experimentos:

- Simulación de un robot y su entorno
- comportamiento de navegación en entornos no estructurados
- sonidos reales como únicos puntos de referencia

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Entorno  
Símbolos  
Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Entorno  
Símbolos  
Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## Entorno no estructurado: representación inviable

- por falta de información,
- porque el entorno es cambiante
- descripción no manejable por complicada.

## Robótica Evolutiva adecuada (diseño automático)

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Entorno  
Símbolos  
Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## *Espectro de control robótico* [Arkin, 1998]: sistemas deliberativos

- simbólicos,
- basados en Inteligencia Artificial “clásica” y
- adecuados para entornos altamente estructurados,

## a sistemas reactivos

- subsimbólicos,
- basados en sistemas conexionistas y
- adecuados para entornos no estructurados.

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

Entorno

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Corporeidad: el controlador depende de la morfología del robot [Brooks, 1991]

Ubicación: un robot debe estar acoplado a su entorno y tomarlo como el modelo del mundo [Brooks, 1991]

Simulaciones mínimas: se pueden construir simulaciones sencillas que produzcan controladores válidos para robots físicos [Jakobi, 1998]

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

Entorno

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Diseño *a mano*: el programador elige

- la manera de procesar los datos
- determina qué información es relevante

Diseño automático: el sistema facilita

- la evolución el conjunto de hardware y controlador
- la aplicación de los conceptos de corporeidad y ubicación
- la decisión de la estructura perceptiva

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

**Entorno**

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Referente en el diseño de robots autónomos

- funcional
- estructural
- con diferentes niveles de inspiración

Robótica Biomimética: copia estructural y funcional

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

**Entorno**

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Referente teórico para objetivo técnico, no descriptivo:

Biología: evolución y morfología

Neurociencias: estructura y su relación con la  
percepción

Psicología: percepción básica y comportamiento

Filosofía de la Ciencia: visión de conjunto y abstracción de los  
mecanismos

Prioridad del objetivo práctico frente al conocimiento

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

Entorno

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## La *Inteligencia* a través de la Vida Artificial

- Comportamiento funcional complejo
- resultado de la dinámica global emergente
- interacción de multitud de elementos
- mediante reglas locales simples
- no reducible al comportamiento de las partes

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica

Entorno

Símbolos

Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## La *Hipótesis del Sistema de Símbolos*

- Los sensores suministran símbolos.
- Por ello el sistema de razonamiento puede separarse del sensomotor.

## La *Hipótesis de la Base Física*

- Los sistemas deben usar representaciones basadas en el mundo físico: *“Es mejor usar el mundo como su propio modelo”* [Brooks, 1991]
- La Inteligencia es inseparable del cuerpo y del entorno.

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Entorno  
Símbolos  
Conexionismo

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Procesamiento Distribuido Paralelo: procesamiento subsimbólico de la información por un conjunto de elementos simples con reglas locales, de los que emerge una dinámica global.

Inspirados en:

Física: Enfriamiento Estadístico (*Simulated Annealing*)

Topología: SOM o Redes de Kohonen

Probabilidad: Redes Bayesianas

Neurociencias: Redes Neuronales

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Líneas de trabajo  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual

Líneas de trabajo

Simulaciones e  
implementaciones

Límites y problemas

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## La Robótica Evolutiva

- estudia mecanismos cognitivos creando modelos
- crea sistemas con comportamientos funcionalmente más complejos
- encuentra mejores soluciones para entornos no estructurados mediante
  - sistemas subsimbólicos
  - diseño automático

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual

Líneas de trabajo

Simulaciones e  
implementaciones

Límites y problemas

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- Estudio de los procesos cognitivos [Harvey, Di~Paolo, Wood, Quinn, and Tuci, 2005].
  - Validación de teorías neurocientíficas y biológicas, como la *Fonotaxia del grillo* [Webb, 2002, Lund, Webb, and Hallam, 1997].
  - Estudio procesos cognitivos con objetivos técnicos [Suzuki and Floreano, 2008, Suzuki, 2007].
- Estudio de los modelos como sistemas dinámicos [Beer, 1992].

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Líneas de trabajo  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Se han definido dos líneas en cuanto a las simulaciones:

- es inútil trabajar sólo en simulación porque no se asegura su funcionamiento en la realidad [Floreano and Mondada, 1996].
- es posible definir una *simulación mínima* que permite o facilita saltar de simulación a realidad [Jakobi, 1998].

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Líneas de trabajo  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

Dos problemas principales:

**Morfogénesis:** desarrollo de una forma a partir de la información genética

**Escalabilidad:** aplicación del mecanismo a problemas cuantitativamente más complejos

CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Percepción  
Problema  
planteado

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 **Objetivos del trabajo**
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Percepción  
Problema  
planteado

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## Objetivo principal del trabajo

### Objetivo principal del trabajo

- Obtención de un robot en simulación
- navegación en entornos no estructurados
- diferenciar señales variables en el tiempo
- sonidos como puntos de referencia
- sin mapas ni otros sistemas de localización

### Navegación

Navegación es el movimiento dirigido de un agente, generado analizando aquella información sensorial que el agente necesita para realizar sus funciones vitales

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

### Objetivos

Percepción  
Problema planteado

Diseño de TOPOS

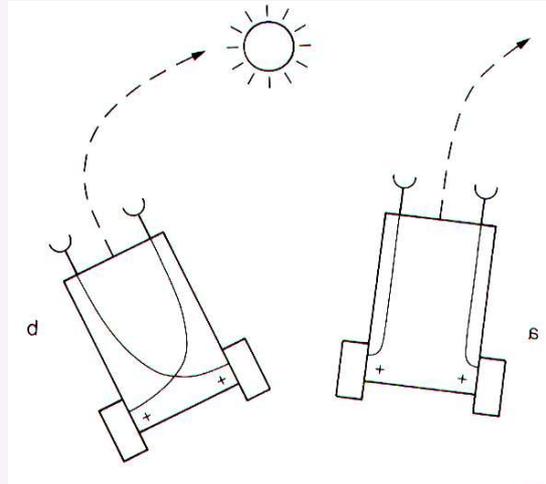
Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

## Vehículos de Braitenberg [Braitenberg, 1984].



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

### Objetivos

Percepción  
Problema planteado

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

## Redes Neuronales:

- sistemas conexionistas
- generalización y parametrización
- inspiración biológica
- reconocimiento de patrones o extracción de características (navegación)
- paralelamente, adquisición de información y control de la parte motora

## Las Redes Neuronales de Pulsos

- tienen más potencia de procesamiento temporal de la entrada [Maass, 1997, Izhikevich, 2006]
- más resistentes al ruido (activación digital) [Maass, 1997]

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos  
Percepción  
**Problema  
planteado**

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

## Simulación de un robot que:

- navega usando puntos de referencia basados en sonido real
- distingue dos señales compuestas que varían en el tiempo (sonido real)
- recibe una señal que varía independientemente de su movimiento
- elige una de las dos señales acercándose a ella en un esquema *caja de Skinner*
- percibe y actúa a través de una Red Neuronal de Pulsos y sensores evolucionados
- se diseña con un enfoque fuertemente bioinspirado

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

**Diseño de  
TOPOS**

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS**
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Simulación de un robot de dos ruedas.

Superficie rectangular con dos fuentes de sonido.

Red Neuronal de Pulsos que conecta sensores con motores.

Se evoluciona una población de robots con un Algoritmo Genético elitista.

Selección: acercarse a la fuente de sonido determinada al principio de las pruebas (caja de Skinner).

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

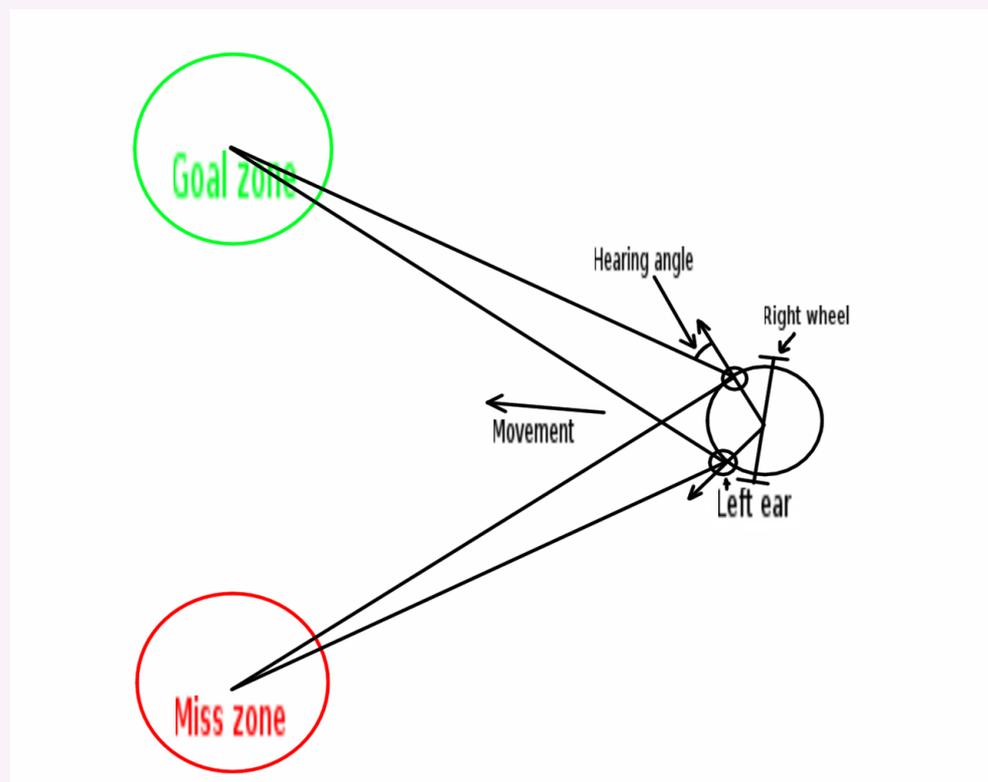
Fitness

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

**Faros**

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

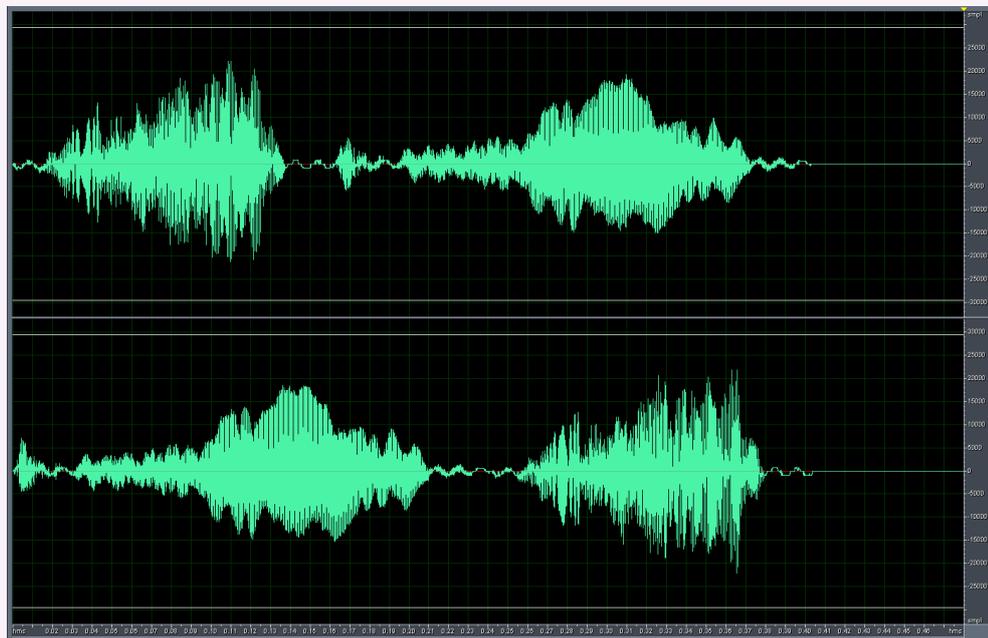
Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Los faros son fuentes de sonido estéreo.



27 / 62

# Individuos o topos

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

**Faros**

**Topos**

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

Resultados

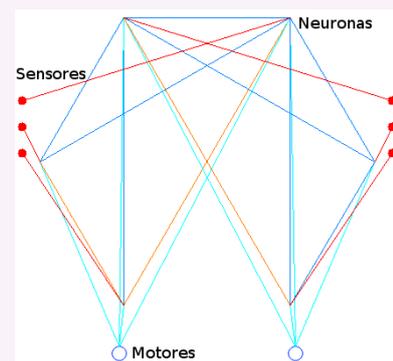
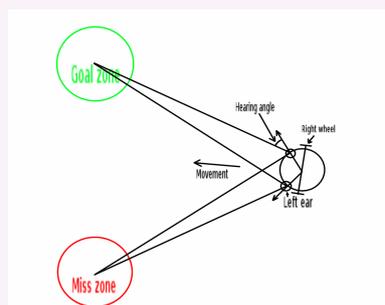
Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Los topos son simétricos por diseño. Se componen de:

- dos oídos con oído externo e interno (cóclea)
- dos subredes neuronales interconectadas
- información genética
- posición



28 / 62

CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Los sensores simulan los campos receptivos de nuestros oídos.

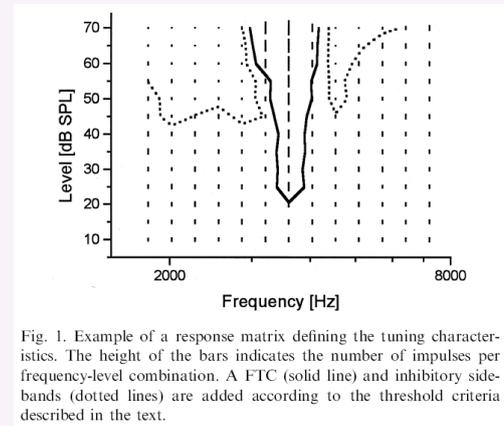
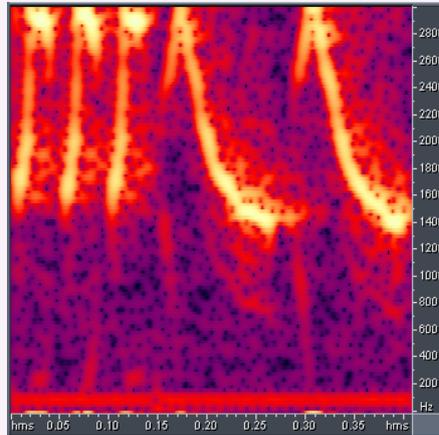


Fig. 1. Example of a response matrix defining the tuning characteristics. The height of the bars indicates the number of impulses per frequency-level combination. A FTC (solid line) and inhibitory sidebands (dotted lines) are added according to the threshold criteria described in the text.

A la activación del sensor se le resta un número aleatorio (ruido de la señal).

CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

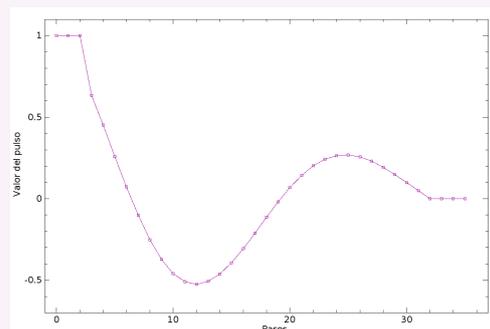
Fitness

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



$$s_i^{t-1} = \sum_{j=1}^N w_{ij} a_j^{t-1}$$

$$a_i^t = f(s_i^{t-1})$$

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{si } x < \theta_i \\ e^{-\alpha p} \cdot \cos(\beta p), & \text{si } x \geq \theta_i \end{cases} \quad p \text{ pasos de actualización}$$

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

La representación del individuo en el genotipo es directa.

Los parámetros del robot se codifican en números reales y enteros, y booleanos codificados como enteros.

La evolución es elitista:

- el 25 % mejor: pasa a la siguiente generación.
- el 25 % peor: se desecha.
- el 75 % mejor (élite incluida): cruce y creación de la siguiente generación.

Mutación: 10 % de las copias de datos (gaussiana de media 1).

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

El problema se considera complejo pero la función de adecuación es sencilla:

- resta un valor proporcional al cuadrado de la distancia mínima al faro correcto
- suma un valor proporcional al cuadrado de la distancia mínima al faro incorrecto
- se suma (resta) una bonificación si se ha acercado a una distancia del faro.
- el valor final es la media de cinco pruebas, sustituyendo los negativos por cero.

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

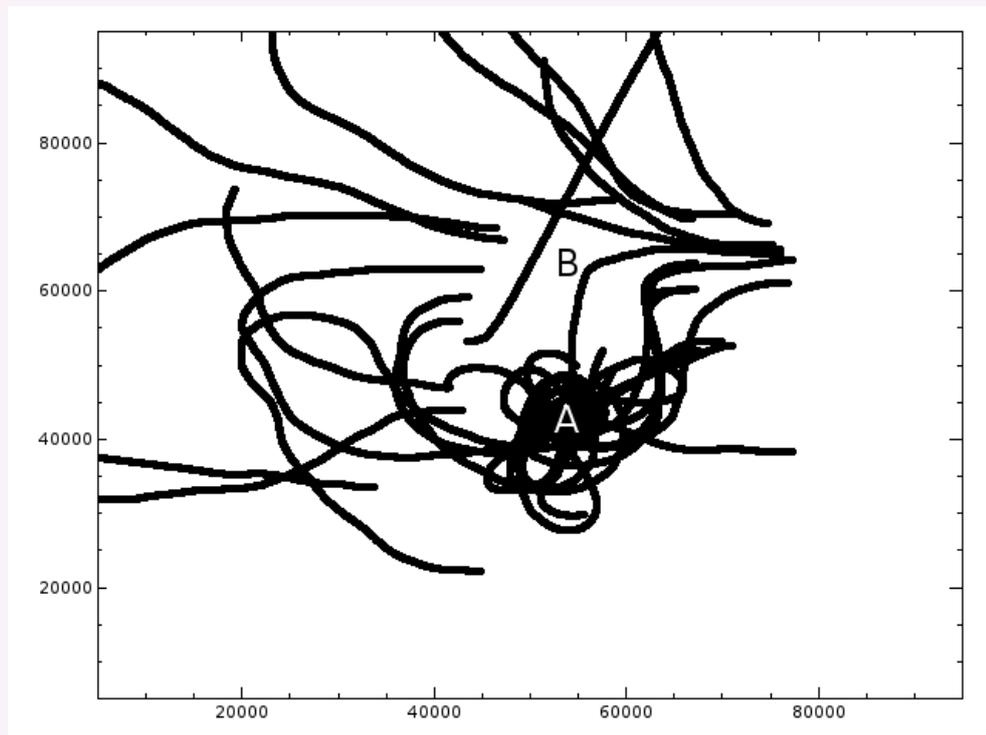
**Fitness**

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

**Resultados**

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados**
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias

Evaluación: acertar, fallar o no alcanzar una fuente de sonido.

Valores que indican la capacidad de hacer la tarea en porcentaje de efectividad.

eficacia absoluta:  $efa = \text{aciertos} / \text{pruebas}$

eficacia relativa:  $efr = \text{aciertos} / (\text{aciertos} + \text{fallos})$

Estas cantidades indican de forma absoluta la capacidad de solucionar un problema, frente a una *fitness* relativa difícil de interpretar.

## Comprobación del sistema sin sonido y con un sonido en un faro

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

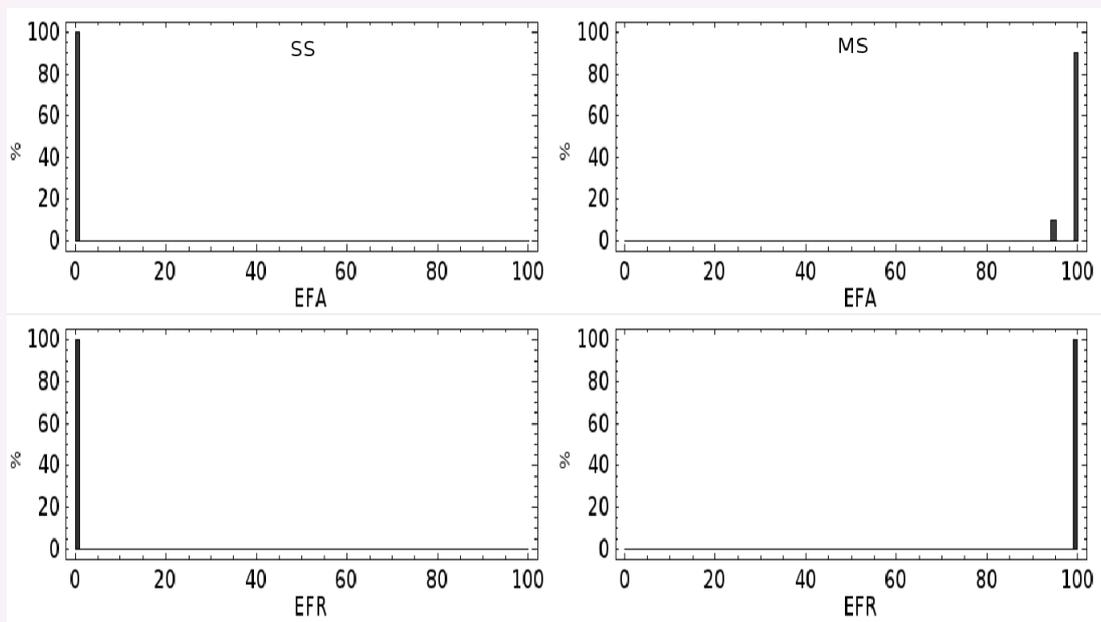
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



# Comprobación del sistema con dos sonidos iguales en los faros

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

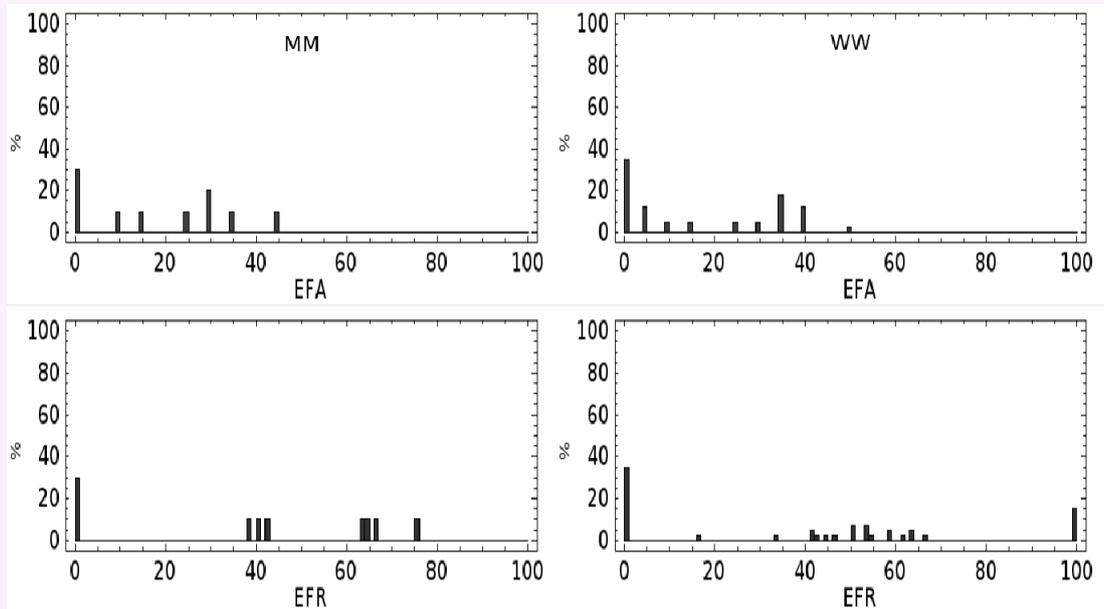
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



# Reconocimiento de una determinada intensidad de señal (ruido rosa contra blanco)

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

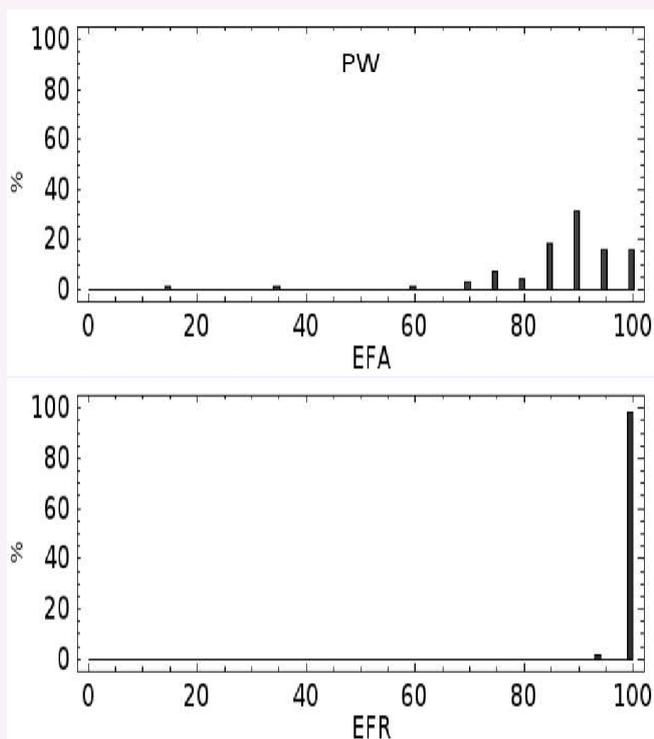
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta  
Corrección

**Señales complejas**

Ruido

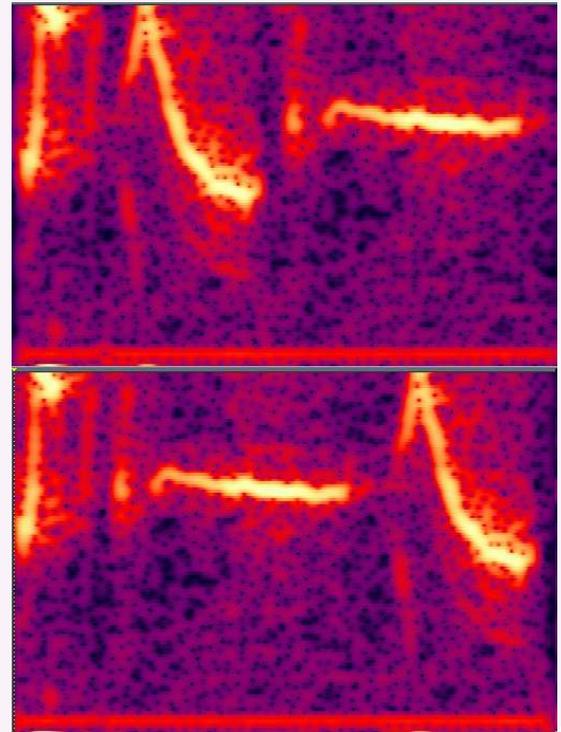
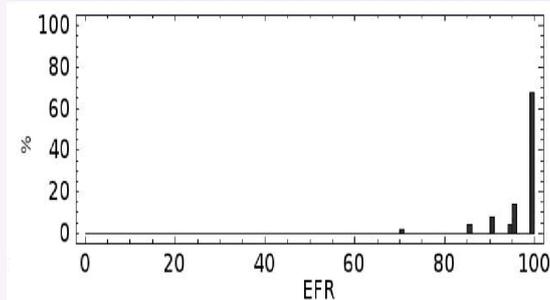
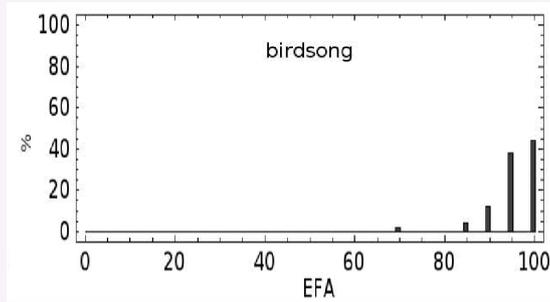
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta  
Corrección

**Señales complejas**

**Ruido**

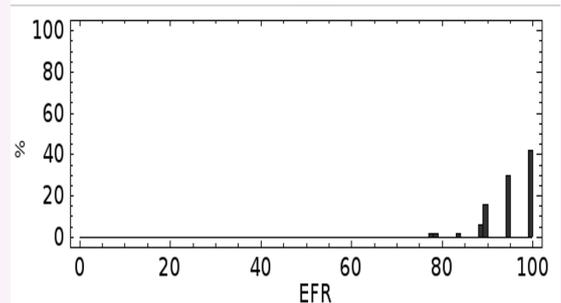
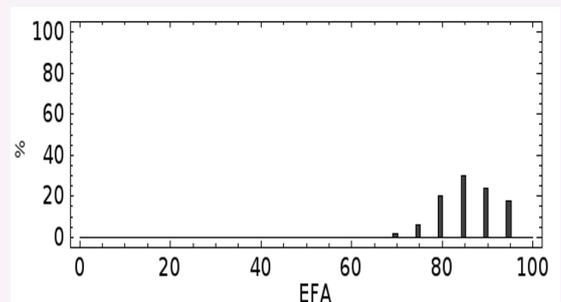
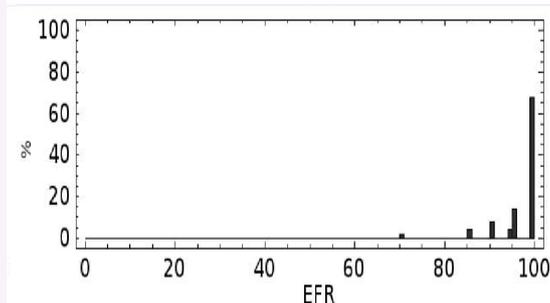
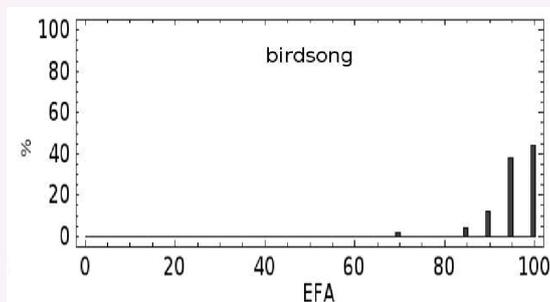
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

**Ruido**

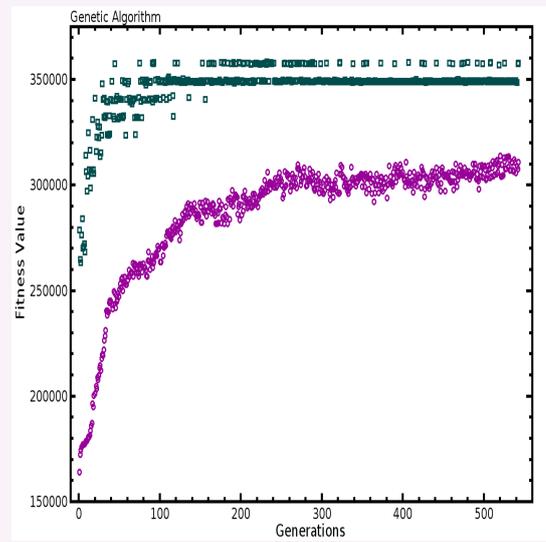
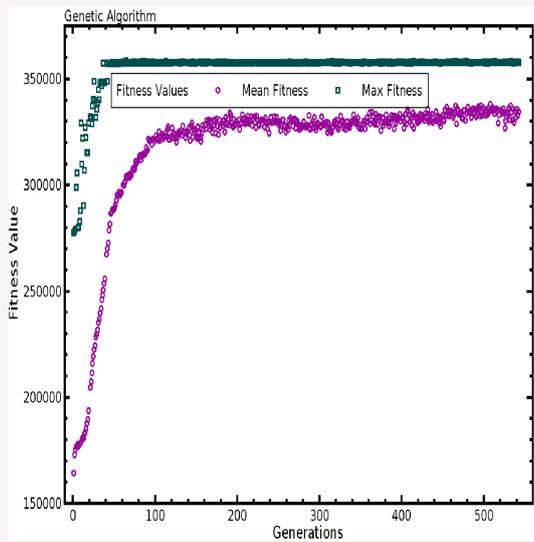
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

**Ruido**

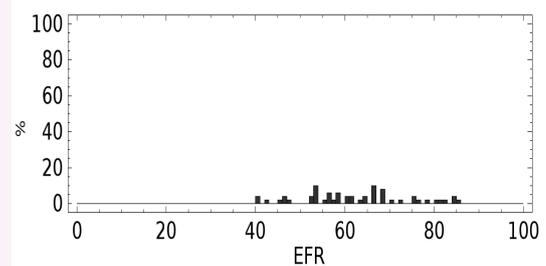
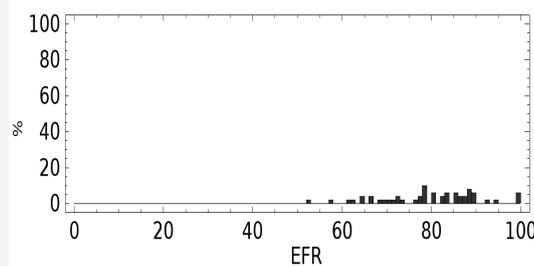
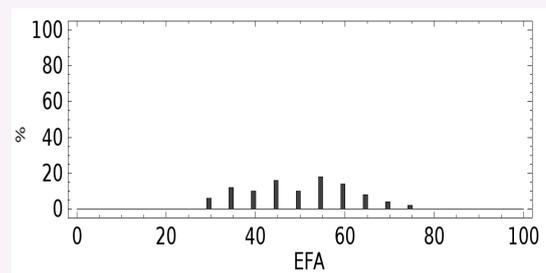
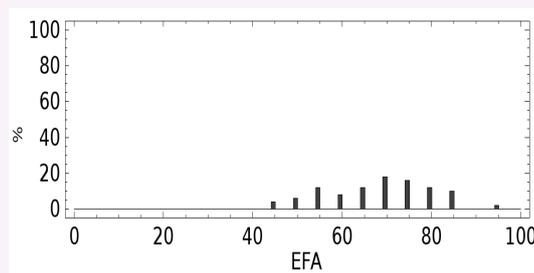
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

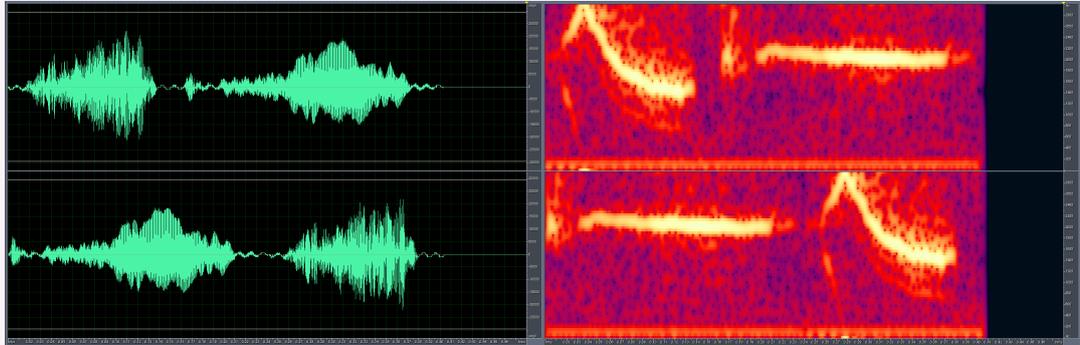
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

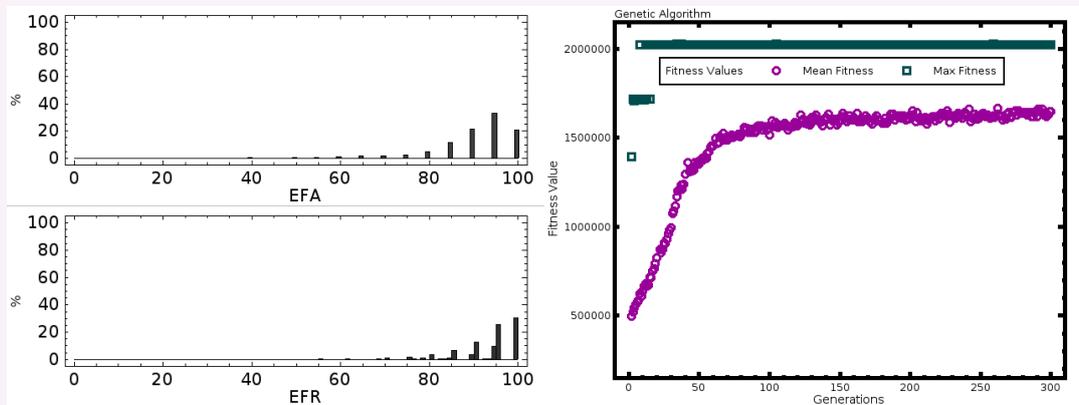
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

Ruido

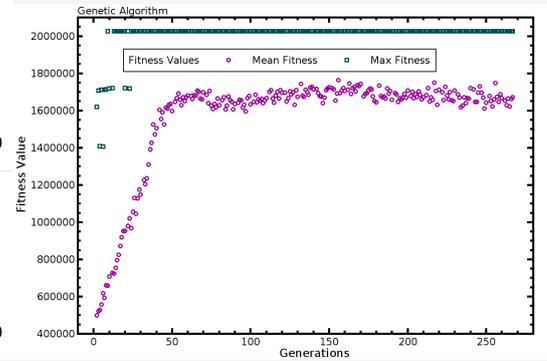
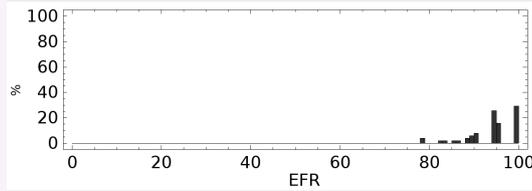
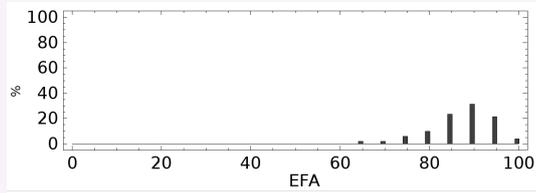
Silencio

PCM

Análisis de un individuo

Conclusiones

Referencias



## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Límites

Conclusiones

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo**
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Límites

Conclusiones

Referencias

Es difícil determinar cuáles son las partes funcionales y qué características son necesarias.

El método es *anular* partes del individuo y observar si se sigue comportando igual, de forma *degradada* o se han perdido las capacidades.

# Poda de un individuo (experimento con partes de silencio)

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

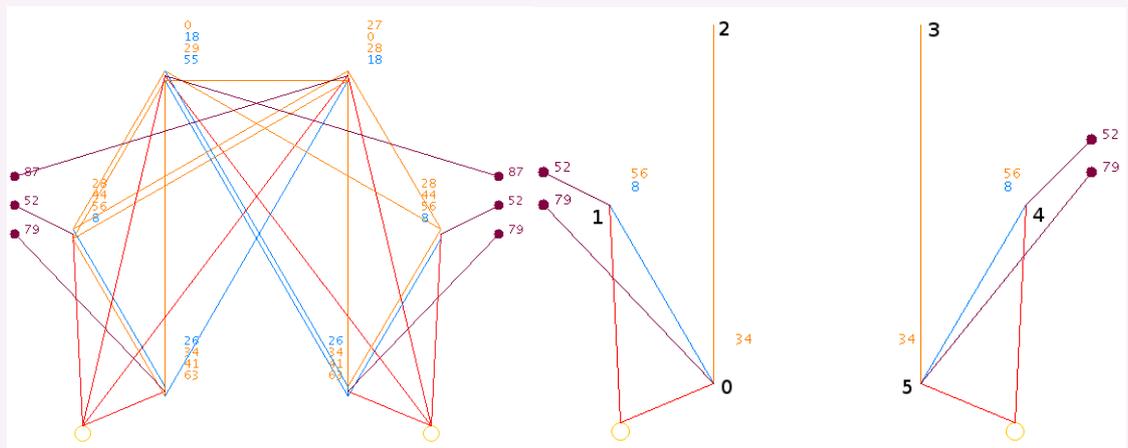
Resultados

Análisis de un individuo

Límites

Conclusiones

Referencias



Número de neurona (negro). Conexiones y retardos de las conexiones entrantes en naranja (peso positivo) y azul (peso negativo). Los pesos de los sensores son todos positivos (color vino). El retardo de valor 56 es recursivo.

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

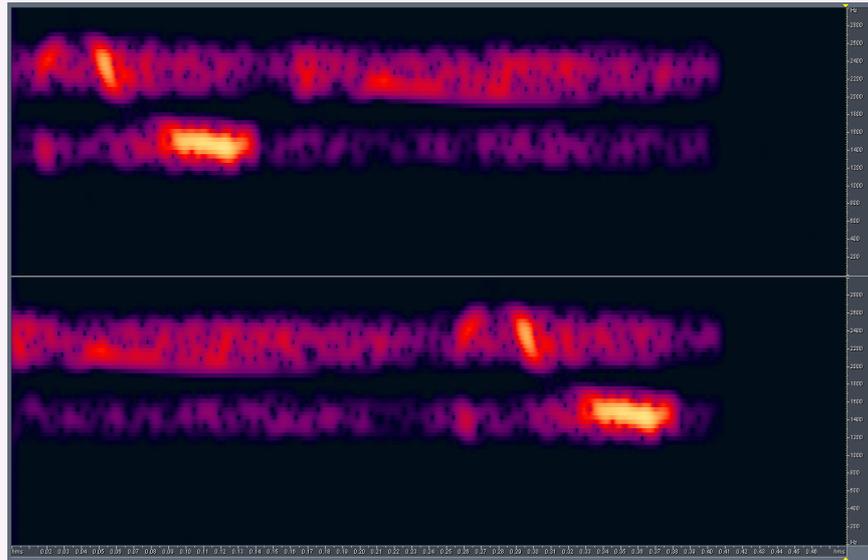
Resultados

Análisis de un individuo

Límites

Conclusiones

Referencias



Sensores	FC	Umbral	Bandas	Saturación	Peso
0 y 5	2292.9	20	5	22	79
1 y 4	1391.7	23	15	269	52

Su separación a cada lado del eje es de  $64^\circ$ .

## CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Conclusiones globales  
Trabajo futuro

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales

Trabajo futuro

Referencias

Se ha construido una simulación en la que se obtiene mediante estrategias evolutivas un robot que:

- navega usando puntos de referencia complejos
- distingue y elige una de las dos señales compuestas que varían en el tiempo (sonido real)
- recibe una señal que varía independientemente de su movimiento
- percibe y actúa a través de una Red Neuronal de Pulsos y sensores evolucionados
- se diseña con un enfoque fuertemente bioinspirado

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales

Trabajo futuro

Referencias

El robot tiene un comportamiento de navegación al diferenciar sonidos variables en el tiempo que usa como puntos de referencia.

El resultado valida el método como adecuado para obtener robots que desarrollen tareas *complejas* en entornos no estructurados.

El controlador del robot es mucho más sencillo que lo que haría falta con técnicas de IA clásica.

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales  
Trabajo futuro

Referencias

La aplicación tiene un diseño *tradicional* en la Robótica Evolutiva.

Se ha comprobado que este tipo de diseño dificulta las siguientes tareas:

- es difícil conseguir una descripción adecuada de un robot con esta complejidad para su uso evolutivo.
- el robot resultante no es suficientemente flexible para adaptarse a nuevas tareas o planteamientos.

Estas dificultades forman la base del trabajo futuro.

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales  
Trabajo futuro

Referencias

- Morfogénesis:**
- expresión no lineal de la información genética
  - sensores (exteroceptores y propioceptores) y motores complejos
  - topología de la red neuronal más variada
  - neuronas más potentes y mecanismos de aprendizaje

**Escalabilidad:** los entornos complejos y la morfogénesis permitirán tareas complejas y estructuras inalcanzables con diseño a mano.

# Navegación mediante Evolución de Redes Neuronales Recurrentes y Dinámicas

Tesis Doctoral dirigida por Blanca Cases y Alvaro Moreno Bergareche

Pablo González Nalda

Depto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos

10 de octubre de 2008



## Contenidos de la presentación

### CONTENIDOS

Área de investigación

Robótica Evolutiva

Objetivos

Diseño de TOPOS

Resultados

Análisis de un individuo

Conclusiones

Conclusiones globales

Trabajo futuro

Referencias

- 1 Área de investigación
- 2 Robótica Evolutiva
- 3 Objetivos del trabajo
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones

Izhikevich: equilibrio entre plausibilidad biológica de los modelos del tipo Hodgkin-Huxley y eficiencia computacional de los modelos de neuronas integrar-y-disparo [Izhikevich, 2006]

Hopfield: red asociativa [Hopfield, 1982]

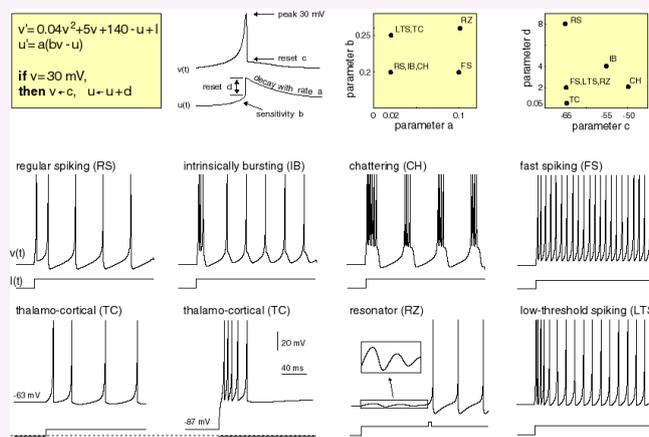
Paugam-Moisy: aprendizaje hebbiano con reglas STDP (*Spike-Timing Dependent Plasticity*) [Paugam-Moisy, Martinez, and Bengio, 2008]



$$\dot{v}_i = 0,04v_i^2 + 5v_i + 140 - u_i + I \quad (1)$$

$$\dot{u}_i = a(bv_i - u_i) \quad (2)$$

$$\text{si } v_i \geq 30\text{mV} \begin{cases} v_i \leftarrow c \\ u_i \leftarrow u_i + d \end{cases} \quad (3)$$



## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- R. Arkin. *Behavior-Based Robotics*. MIT Press, Cambridge, MA., 1998.
- R. Beer. A dynamical systems perspective on agent-environment interaction. *Artificial Intelligence*, 1992.
- V. Braitenberg. *Vehicles. Experiments in Synthetic Psychology*. MIT Press, MA, 1984.
- R. Brooks. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47:139–159, 1991.
- D. Floreano and F. Mondada. Evolution of homing navigation in a real mobile robot. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 26(3):396–407, 1996.

## CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

- I. Harvey, E. Di Paolo, R. Wood, M. Quinn, and E. A. Tuci. Evolutionary robotics: A new scientific tool for studying cognition. *Artificial Life*, 11(1-2):79–98, 2005.
- J. J. Hopfield. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *PNAS*, 79(8): 2554–2558, April 1982. URL <http://www.pnas.org/content/79/8/2554.abstract>.
- E. Izhikevich. Polychronization: Computation with spikes. *Neural Comput.*, 18(2):245–282, 2006.
- N. Jakobi. *Minimal Simulations for Evolutionary Robotics*. PhD thesis, COGS, 1998.

### CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

H. H. Lund, B. Webb, and J. Hallam. A robot attracted to the cricket species *gryllus bimaculatus*. In P. Husbands and I. Harvey, editors, *IV European Conference on Artificial Life ECAL97*, pages 246–255. MIT Press/Bradford Books, MA, 1997.

W. Maass. Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models. *Neural Networks*, 10:1659–1671, 1997.

Hélène Paugam-Moisy, Régis Martinez, and Samy Bengio. Delay learning and polychronization for reservoir computing. *Neurocomput.*, 71(7-9):1143–1158, 2008. ISSN 0925-2312. doi:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2007.12.027>.

### CONTENIDOS

Área de  
investigación

Robótica  
Evolutiva

Objetivos

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Referencias

M. Suzuki. *Enactive robot vision*. PhD thesis, Lausanne, diciembre 2007. URL  
<http://library.epfl.ch/theses/?nr=3974>.

M. Suzuki and Dario Floreano. Enactive Robot Vision. *Adaptive Behavior*, 2008.

B. Webb. Robots in invertebrate neuroscience. *Nature*, 417: 359–363, 2002.