



OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIOINSPIRADOS DE VISIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

PyConES 2016

Alumno: **Rubén Crespo Cano**

Directores: Antonio Martínez y Eduardo Fernández

09/10/2016

Universidad de Alicante

Índice de contenidos

1. Acerca de mí
2. Introducción
3. Estrategia evolutiva multiobjetivo de inferencia de modelos de retina
4. Herramientas y métodos
5. Experimentación
6. Publicaciones
7. Conclusiones y trabajo futuro

Acerca de mí

¿Quién soy?

- **Nombre** Rubén Crespo Cano
- **Estudios**
 - MSc in Computer Science
 - MSc in Telecommunication Engineering
 - PhD Student
 - Departamento de Tecnología Informática y Computación (UA)
 - Instituto de Bioingeniería (UMH)
- **Trabajo** Ingeniero de software en Everilion
- **E-mail** *rcrespocano@gmail.com*
- **Twitter** *@rcrespocano*
- **Researchgate** Rubén Crespo-Cano
- **Google Scholar** Rubén Crespo-Cano

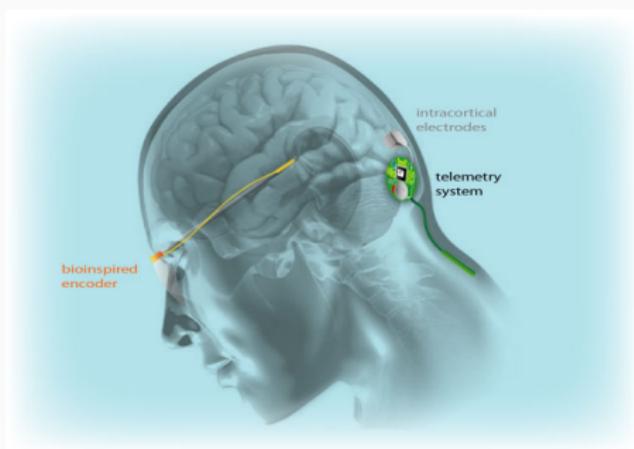
¿Qué no soy?

- No soy médico/oftalmólogo
- No soy neurocientífico
- No soy biólogo/biotecnólogo
- No soy óptico-optometrista

Introducción

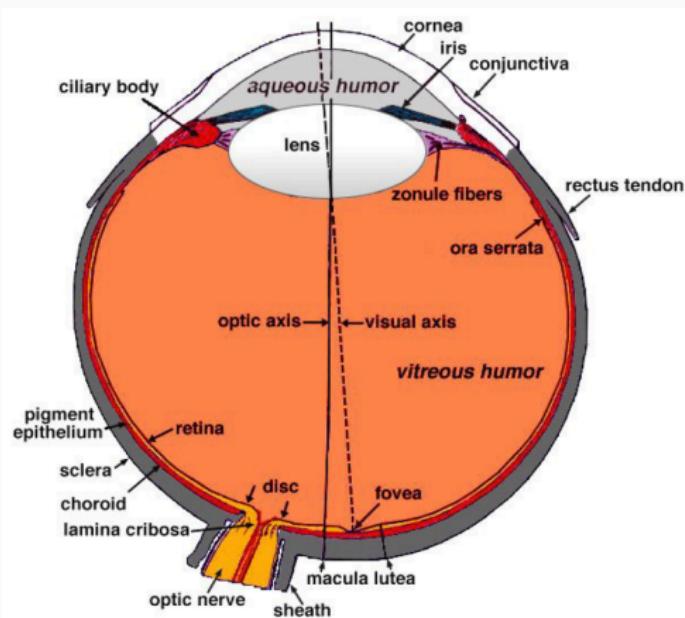
Introducción

- **Proyecto matriz:** Diseño de una neuroprótesis cortical capaz de restaurar la visión a personas con discapacidad visual
- La obtención de un modelo funcional de retina fidedigno constituye un hito principal → **aproximación funcional entre el modelo sintético y la retina biológica**
- Modelar la gran variabilidad de la retina biológica es un **reto**



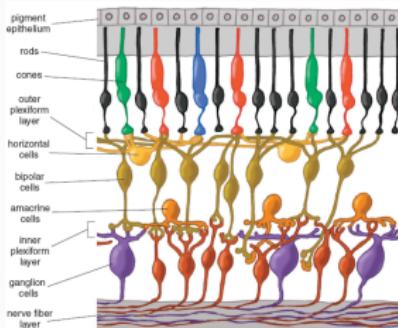
La retina biológica

- Tejido neuronal formado por distintos tipos de células
- Responsable de las primeras etapas del procesamiento visual
- Función → Transformar los estímulos luminosos en **señales eléctricas**



La retina biológica

- Integra un rico conjunto de células especializadas tales como fotorreceptores, horizontales, bipolares, amacrinias o ganglionares, las cuales son sensibles a:
 - Color & intensidad lumínica
 - Movimiento de imagen
 - Bordes ↽ Detección de bordes
 - Muchas otras características valiosas



Interconexión de las células retinianas.

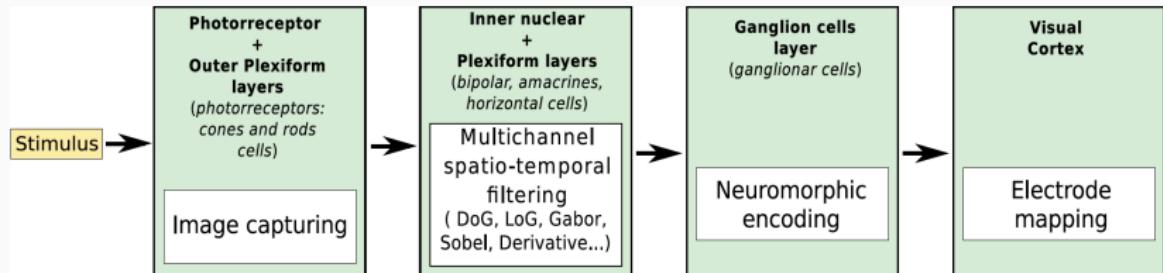
Modelo de retina bioinspirado

¿Qué es un modelo de retina?

- Representación bioinspirada capaz de realizar parte de las funciones de preprocesamiento de la retina
- Modelo capaz de transformar el mundo visual externo en señales eléctricas que puedan ser utilizadas para excitar las neuronas del córtex occipital

Modelo de retina bioinspirado

Bloques de procesamiento del modelo de retina bioinspirado:



Modelo de retina bioinspirado

Descripción matemática del modelo de retina:

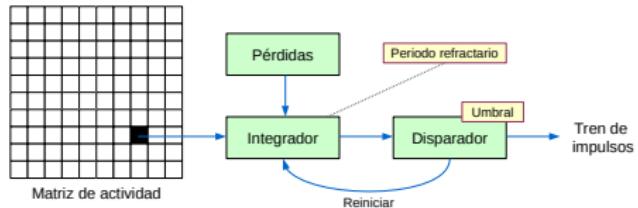
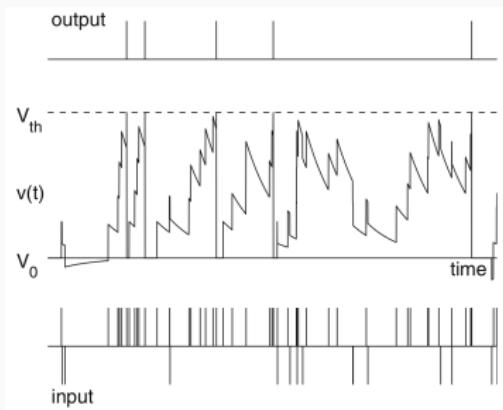
$$\begin{aligned} Stage_1 &= N^i \cdot f_{Gauss}^i(\sigma_i, \mu_i, \kappa_i; input) + \\ &\quad N^{i+1} \cdot f_{Gauss}^{i+1}(\sigma_{i+1}, \mu_{i+1}, \kappa_{i+1}; input) + \dots \\ &+ N^{i+M} \cdot f_{DoG}^{i+M}(\sigma_1^{i+M}, \sigma_2^{i+M}, \mu_1^{i+M}, \mu_2^{i+M}, \kappa_1^{i+M}, \\ &\quad \kappa_2^{i+M}; input) + \dots + N^{i+K} \cdot f^{i+K}(\dots) + \dots; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Stage_2 &= NeuroCod(NE_Param_0, NE_Param_1, \\ &\quad NE_Param_2, \dots, NE_Param_j; Stage_1); \\ &i, j, M, N, K \in \mathbb{N} \end{aligned}$$

Codificación neuromórfica

Modelo neuronal de integración y disparo (IF)

- Uno de los modelos más ampliamente utilizados para el análisis del comportamiento de los sistemas neuronales
- Potencial de acción: **spike** → Se genera cuando el potencial de la membrana alcanza un valor umbral



Estrategia evolutiva multiobjetivo de inferencia de modelos de retina

¿Por qué una estrategia evolutiva multiobjetivo?

- Muchos parámetros y rango dinámico generalmente continuo
→ **enorme espacio de búsqueda**
- Imposibilidad de exploración de todo el espacio de soluciones
- Necesidad de guiar el proceso de búsqueda
- Varios objetivos antagónicos → Problema **multiobjetivo**

¿Por qué una estrategia evolutiva multiobjetivo?

Propuesta:

Utilización de **técnicas de computación evolutiva** para guiar la exploración del espacio de soluciones y un procedimiento **multiobjetivo** para evaluar cada solución alcanzada en el proceso de exploración

Técnicas de computación evolutiva

- Algoritmos genéticos (GA)
 - SPEA-2
 - NSGA-II
 - NSGA-III
- Evolución diferencial (DE)
- Optimización por enjambre de partículas (PSO)

Algoritmos Evolutivos

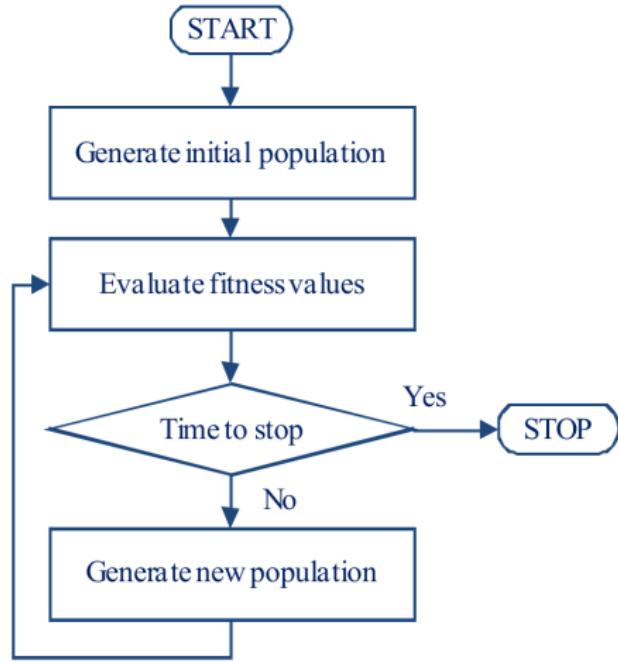


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo Evolutivo.

Algoritmos Genéticos

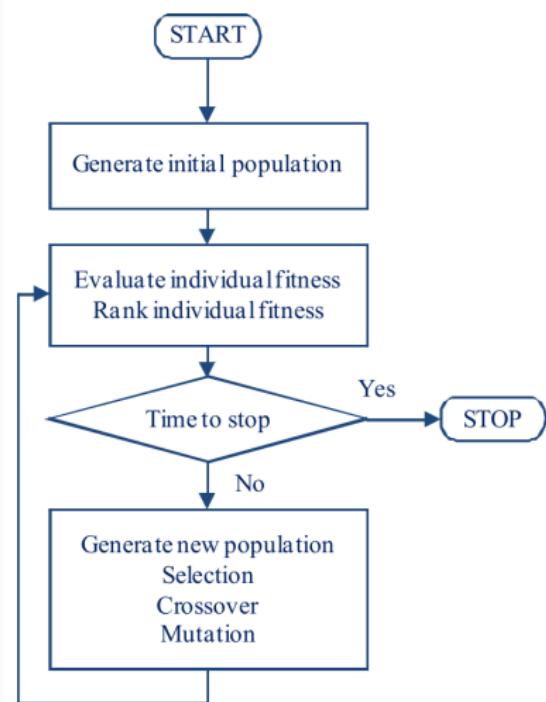


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo Genético.

Differential Evolution

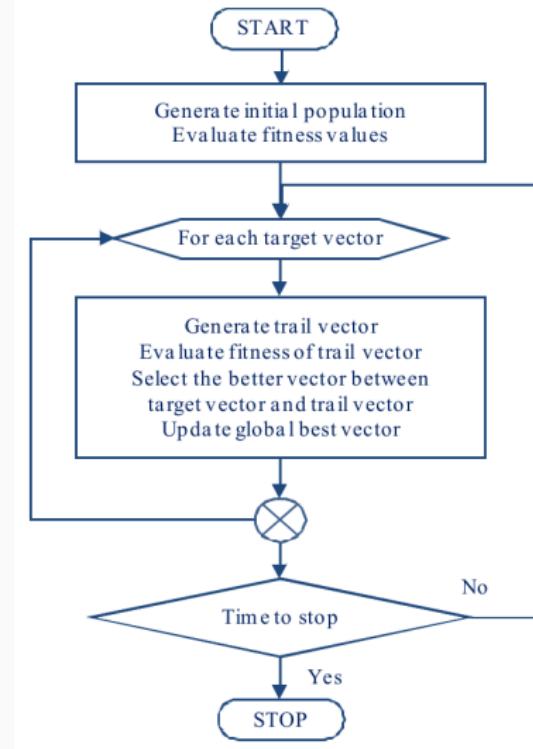


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo DE.

Particle Swarm Optimization

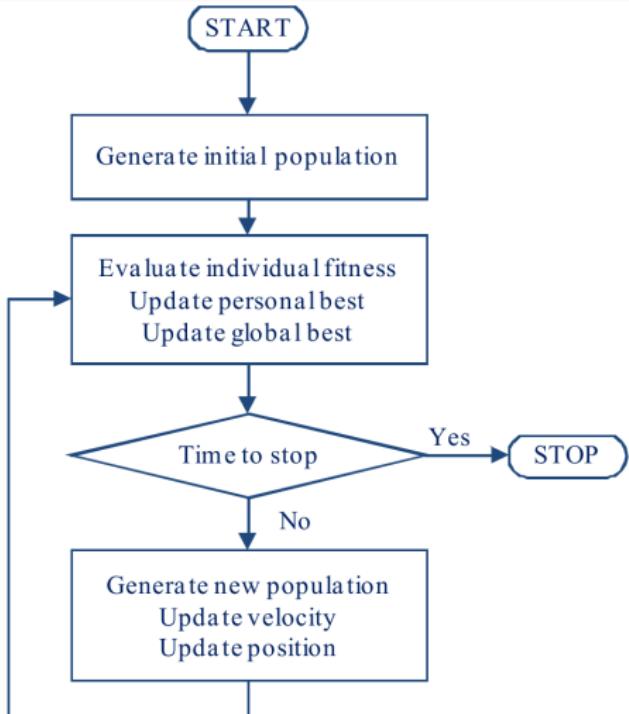
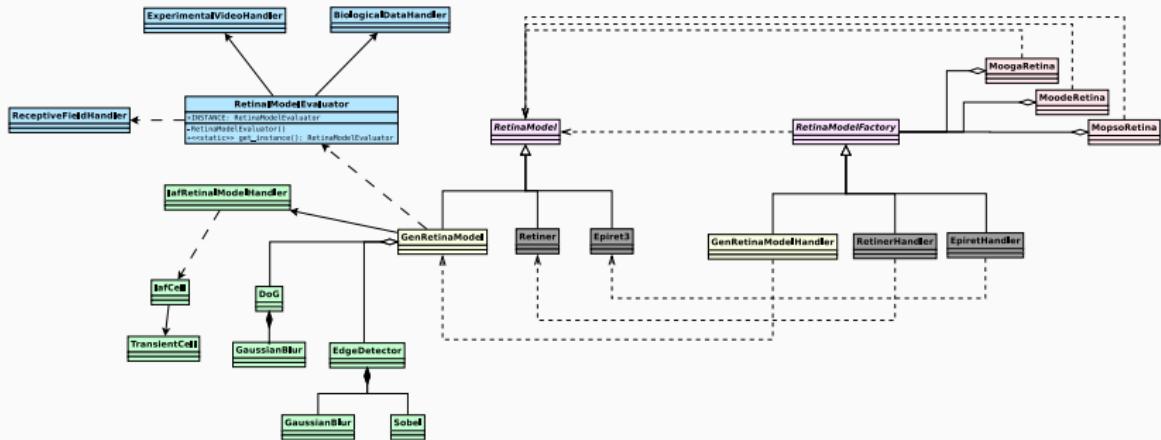


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo PSO.

Herramientas y métodos

Diseño del software de simulación

- Creación de un motor de simulación genético escalable
- Patrón de diseño GoF: **Factory Method**
 - Bajo acoplamiento
 - Alta cohesión



Esquema reducido del diagrama de clases UML del motor de simulación

Diseño del software de simulación

- Tecnologías utilizadas
 - Python 2.7.9
 - SciPy & Numpy
 - OpenCV
 - DEAP
 - Scikit-learn
 - VisionEgg

Distributed Evolutionary Algorithms in Python

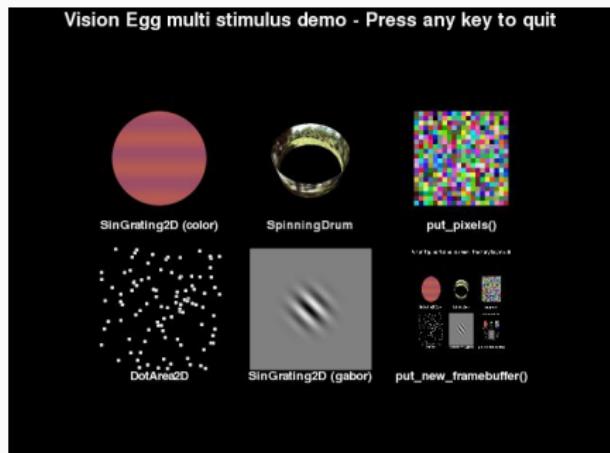
- Framework de Computación Evolutiva
- Estrategias evolutivas, Optimización multiobjetivo, Co-evolución, Paralelización, PSO, DE, etc



Enlace GitHub: <https://github.com/DEAP>

Vision Egg

- Biblioteca para la generación de estímulos visuales para experimentos de investigación de la visión
- Utilización de tarjetas gráficas estándar y de bajo coste



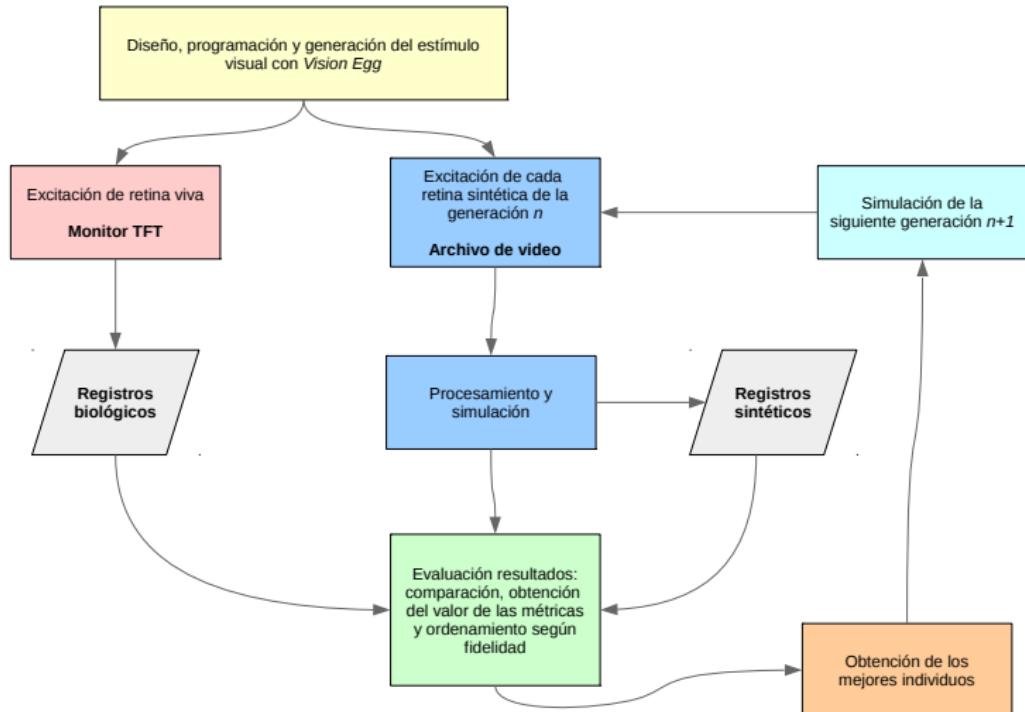
Enlace Vision Egg: <http://visionegg.org>

Experimentación

Experimentación

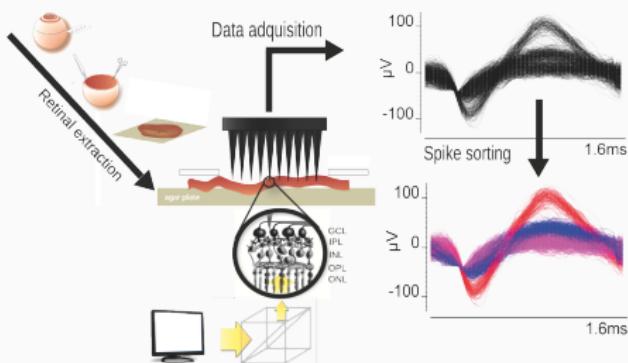
- Experimentación inicial con **animales**
 - Ratones adultos de tipo salvaje (C57BL/6J)
- Experimentación con **humanos**

Esquema de la experimentación con animales



Esquema de la experimentación con animales

¿Cómo se obtienen los registros biológicos?



- Registros extracelulares de las células ganglionares obtenidos de retinas de ratón aisladas
- Grabación de las respuestas mediante un **Utah Electrode Array** de tamaño 10×10
- Clasificación de los impulsos mediante software basado en análisis PCA

Métricas comparativas entre modelos de retina:

- **Métrica 1:** Firing rate absolute difference (**FRAD**)
- **Métrica 2:** Peri-Stimulus Time Histogram - Kullback-Leibler divergence (**PSTH-KLD**)
- **Métrica 3:** Interspike Interval Histogram - Kullback-Leibler divergence (**ISI-KLD**)
- **Métrica 4:** Receptive field absolute difference (**RFAD**)

Kullback-Leibler divergence (KLD)

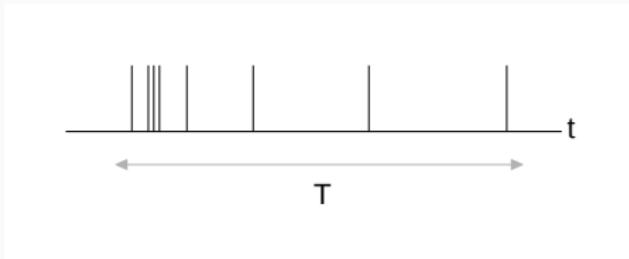
- Medición de la **distancia** entre dos distribuciones de densidad
- Conocida como información de divergencia o entropía relativa

$$D_{KL}(P \parallel Q) = \sum_i P(i) \cdot \log \frac{P_i}{Q_i}$$

Central en la teoría de información, en estadística, en neurociencia y en aprendizaje automático

Métrica 1: Firing rate absolute difference (FRAD)

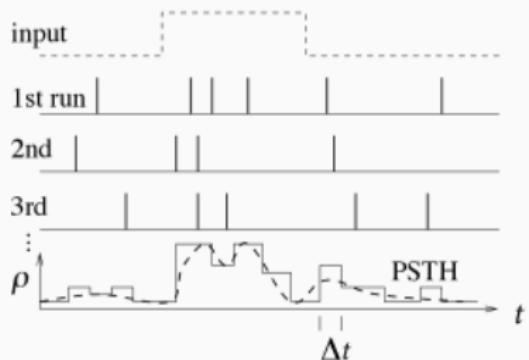
- Codificación neuronal → representación de la información sensorial de las respuestas neuronales
- Tasa de disparo o **firing rate** → promedio temporal
- Mucha información relevante contenida en la tasa de disparo



Métrica 2: Peri-Stimulus Time Histogram (PSTH-KLD)

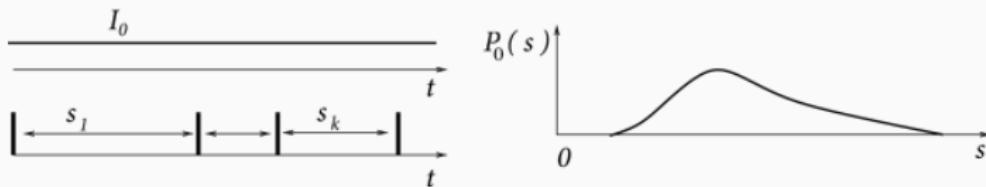
Si se divide el número de ocurrencias de disparos $n_K(t; t + \Delta t)$ sumado sobre todas las repeticiones, entre el número de repeticiones K y el tamaño del intervalo Δt , se obtiene la **densidad** de la tasa de disparos

$$\rho(t) = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{n_K(t; t + \Delta t)}{K}$$



Métrica 3: Interspike Interval Histogram (ISI-KLD)

- Método común de estudio de la variabilidad neuronal ante cierta entrada estacionaria
- Análisis de la distribución de los intervalos s_k entre dos impulsos consecutivos



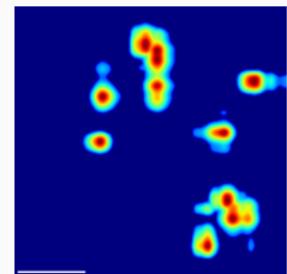
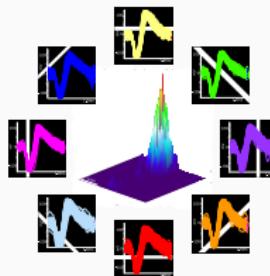
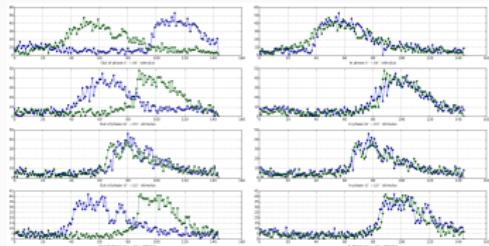
Métrica 4: Receptive field absolute difference (RFAD)

- Diferencia en valor absoluto del área del campo receptivo
- Cuanto más proximo a cero → mayor correlación

Modelado del campo receptivo

Delimitación y localización

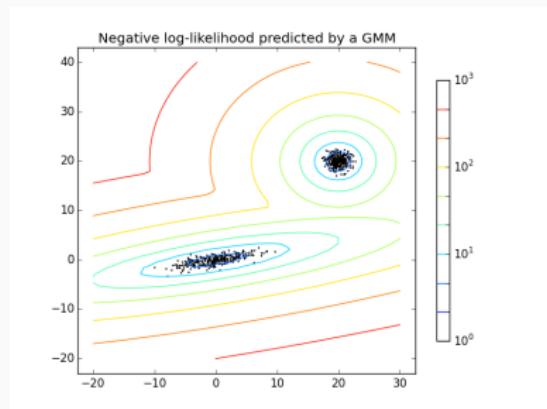
- Cálculo de los centroides
- Filtrado señales de ruido → Peso al umbral de disparo
- Puesta en fase de las señales



Modelado del campo receptivo

Cálculo del área

- Técnicas y algoritmos pertenecientes a la rama de conocimiento del **aprendizaje automático**
- Clasificación de los campos receptivos mediante técnicas de **clustering**
- Método → **Gaussian Mixture Model**



Setup experimental

Modelo de retina candidato para el ajuste paramétrico:

$$\begin{aligned} Stage_1 &= 0.5 \cdot f_{DoG}^1(\sigma_1^1, \sigma_2^1, \mu_1^1, \mu_2^1, \kappa_1^1, \kappa_2^1, R + B, 0.2 \cdot G; input) \\ &+ 0.3 \cdot f_{DoG}^2(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \mu_1^2, \mu_2^2, \kappa_1^2, \kappa_2^2, R + G, B; input) \\ &+ 0.2 \cdot f_{LoG}^3(\sigma_1^3, \sigma_2^3, \mu_1^3, \mu_2^3, \kappa_1^3, \kappa_2^3, I; input) \\ Stage_2 &= IF(Threshold, Leakage, RefractoryPeriod, \\ &\quad Persistence, FrequencyModulationFactor; Stage_1); \end{aligned}$$

Setup experimental

Parámetros del algoritmo genético:

Tamaño Población: 60 individuos

Probabilidad Mutación: 5%

Probabilidad Recombinación: 30%

Número de generaciones: 2500

Simulación:

Sistema de procesamiento: Intel Xenon X5660 con 48GiB de RAM

Tiempo de simulación por cada generación: 22 minutos

Tiempo de simulación: 917 horas (39 días)

Setup experimental

Parámetros del cromosoma:

Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Tipo de dato
$K(\text{odd number})$	3	13	int
Threshold	225.0	275.0	float
Leakage	10.0	15.0	float
Refractory period	1.0	10.0	float
Persistence time	3	7	int
FMF	0.25	0.40	float

Casos de estudio

- Se han diseñado dos casos de estudio experimentales para evaluar la viabilidad de la estrategia MOOGA propuesta (GA - NSGA-II)
 - Caso de estudio 1: Estudio de la **convergencia** del método
 - Caso de estudio 2: Ajuste **multiobjetivo** de un modelo de retina

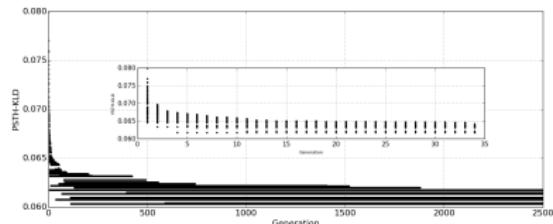
Caso de estudio 1

- Estudio de la convergencia del método
- Cuatro **experimentos monobjetivo** → aproximación de los registros electrofisiológicos sintéticos y biológicos

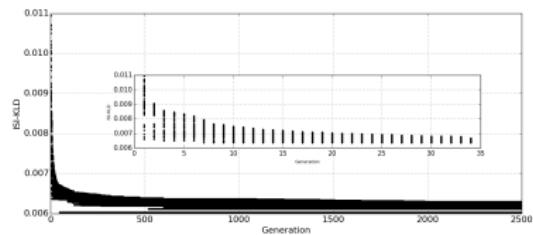
Métrica cuantitativa	Experimento
PSTH-KLD	Experimento 1
FRAD	Experimento 2
ISI-KLD	Experimento 3
RFAD	Experimento 4

Caso de estudio 1

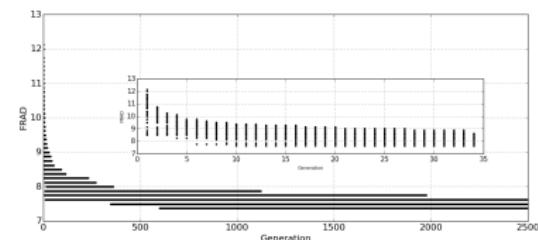
Resultados:



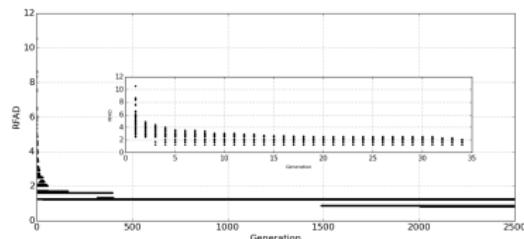
PSTH-KLD



ISI-KLD



FRAD



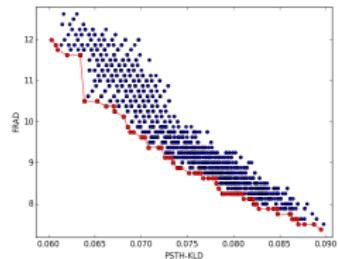
RFAD

Caso de estudio 2

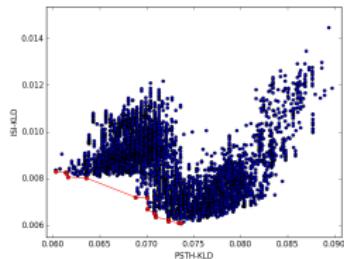
- Evaluación de efectividad de la estrategia MOOGA (NSGA-II) propuesta → experimento **multiobjetivo**
- Problema de **minimización**

Caso de estudio 2

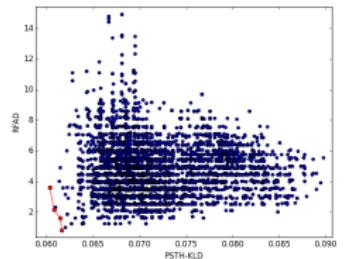
Resultados:



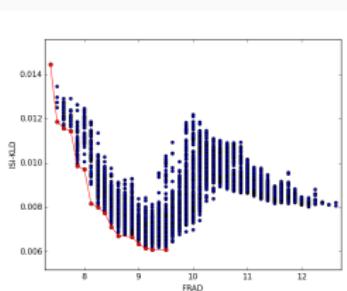
PSTH-KLD vs FRAD



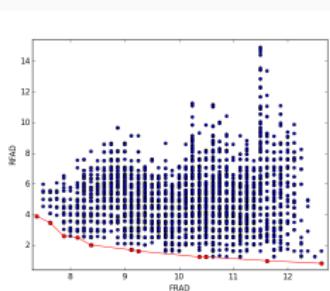
PSTH-KLD vs ISI-KLD



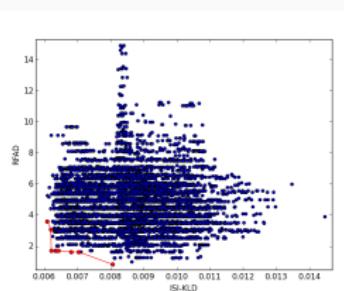
PSTH-KLD vs RFAD



FRAD vs ISI-KLD

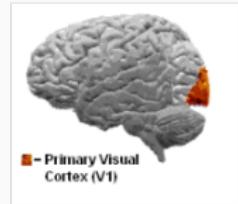


FRAD vs RFAD



ISI-KLD vs RFAD

Esquema de la experimentación con humanos



- PC → NEURO-ESTIMULADOR
 - Python & GTK+ 3 (?Qt 5?)
 - Integración Python-C (ctypes, cython, cffi, etc.)

Publicaciones

Publicaciones

- Rubén Crespo-Cano, Antonio Martínez-Álvarez, et al., **On the automatic tuning of a retina model by using a multi-objective optimization genetic algorithm**, International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, Springer International Publishing, 2015, pp. 108–118.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-18914-7_12
- Antonio Martínez-Álvarez, Rubén Crespo-Cano, et al., **Automatic tuning of a retina model for a cortical visual neuroprosthesis using a multi-objective optimization genetic algorithm**, International Journal of Neural Systems 26 (2016), no. 07, 1650021, PMID: 27354187. <http://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0129065716500210>

Conclusiones y trabajo futuro

Conclusiones

- Se han propuesto métricas comparativas satisfactorias entre modelos de retina sintéticos
- Se ha presentado una estrategia evolutiva multiobjetivo para el modelado de retinas sintéticas que cumple las expectativas
- Las métricas de calidad convergen en una cantidad de tiempo razonable

Trabajo futuro

- Explorar/diseñar nuevas métricas cuantitativas para proporcionar una mejor aproximación y convergencia
- Trabajar en el diseño de mejores estímulos visuales a fin de revelar un comportamiento más sofisticado de la retina
- Comparar distintos modelos de retina
- Optimizar el framework para mejorar los tiempos de simulación

¿Preguntas?

¡Gracias por su atención!



OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIOINSPIRADOS DE VISIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

PyConES 2016

Alumno: **Rubén Crespo Cano**

Directores: Antonio Martínez y Eduardo Fernández

09/10/2016

Universidad de Alicante