

5

EJEMPLO DE ALGORITMOS GENÉTICOS

ANTENAS EVOLUCIONADAS COMPETITIVAS CON EL SER HUMANO

- ▶ **Objetivo:** Demostrar que los algoritmos evolutivos podían diseñar antenas para una misión real y desafiante de la NASA (Space Technology 5 - ST5).
- ▶ Uno de los artículos que detalla su diseño es “Human-competitive evolved antennas” (Lohn et al., 2008) en el que se utilizaron Algoritmos Genéticos.

Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (2008), 22, 235–247. Printed in the USA.
Copyright © 2008 Cambridge University Press 0890-0604/08 \$25.00
doi:10.1017/S0890060408000164

Human-competitive evolved antennas

JASON D. LOHN,¹ GREGORY S. HORNBY,² AND DEREK S. LINDEN³
¹Carnegie Mellon University, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, USA
²University of California Santa Cruz, NASA Ames Research Center, Santa Cruz, California, USA
³JEM Engineering, Laurel, Maryland, USA

(RECEIVED February 16, 2005; ACCEPTED July 2, 2007)

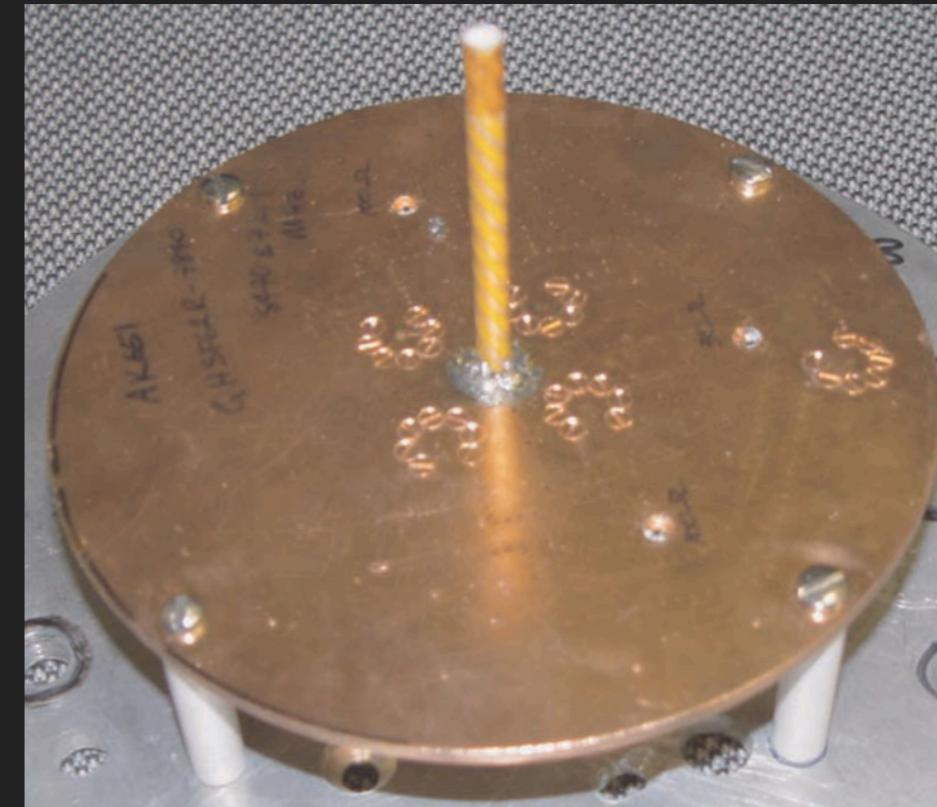
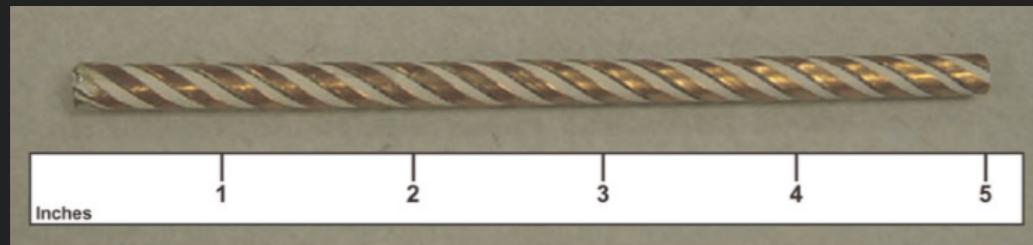
Abstract
We present a case study showing a human-competitive design of an evolved antenna that was deployed on a NASA spacecraft in 2006. We were fortunate to develop our antennas in parallel with another group using traditional design methodologies. This allowed us to demonstrate that our techniques were human-competitive because our automatically designed antenna could be directly compared to a human-designed antenna. The antennas described below were evolved to meet a challenging set of mission requirements, most notably the combination of wide beamwidth for a circularly polarized wave and wide bandwidth. Two evolutionary algorithms were used in the development process: one used a genetic algorithm style representation that did not allow branching in the antenna arms; the second used a genetic programming style tree-structured representation that allowed branching in the antenna arms. The highest performance antennas from both algorithms were fabricated and tested, and both yielded very similar performance. Both antennas were comparable in performance to a hand-designed antenna produced by the antenna contractor for the mission, and so we consider them examples of human-competitive performance by evolutionary algorithms. Our design was approved for flight, and three copies of it were successfully flown on NASA’s Space Technology 5 mission between March 22 and June 30, 2006. These evolved antennas represent the first evolved hardware in space and the first evolved antennas to be deployed.

Keywords: Antenna; Computational Design; Design; Evolutionary Computation; Genetic Programming; Spacecraft; Wire Antenna

EL PROBLEMA

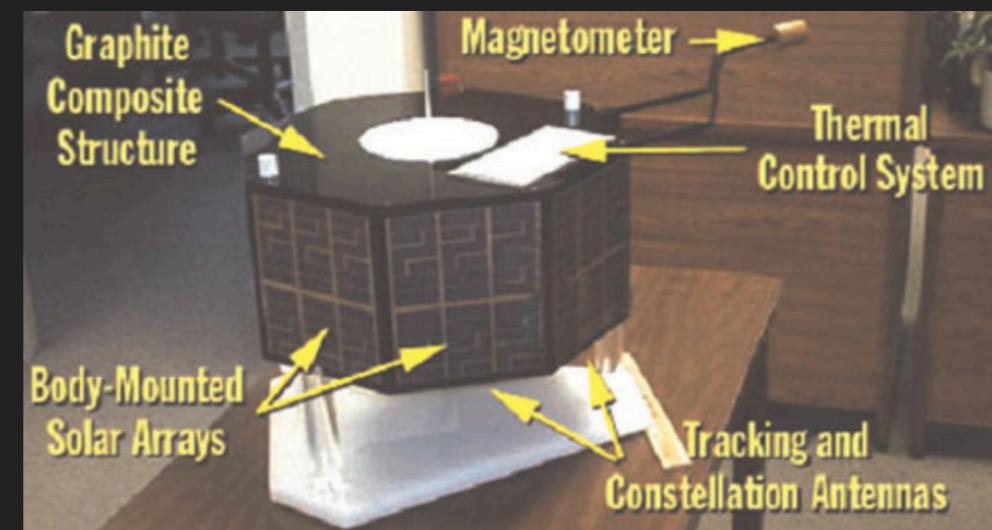
► El diseño tradicional de antenas:

- ✓ Consume mucho tiempo
- ✓ Es laborioso
- ✓ Requiere una experiencia considerable
- ✓ Limita la complejidad de los diseños que un humano puede concebir u optimizar.



REQUISITOS DE LA MISIÓN ST5

- ▶ Ancho de haz amplio para una onda polarizada circularmente.
- ▶ Ancho de banda amplio (diferentes frecuencias de transmisión y recepción: 8470 MHz y 7209.125 MHz) (Banda C y Banda X).
- ▶ Patrones de ganancia específicos (≥ 0 dBic en un amplio rango de ángulos) (isotrópica circular)
- ▶ Baja Razón de Onda Estacionaria de Voltaje (VSWR) indicando una buena adaptación de impedancia (menos de 1.2 para transmisión, 1.5 para recepción).
- ▶ Impedancia de entrada de 50Ω .
- ▶ Restricciones de tamaño (cabrer en un cilindro de 15.24 cm de diámetro/altura).



ENFOQUE CON ALGORITMOS EVOLUTIVOS

- ▶ Se restringió el diseño a una antena **monopolo de alambre con cuatro brazos idénticos, rotados 90° entre sí.**
- ▶ El trabajo del AE era evolucionar el diseño para **un solo brazo.**
- ▶ Se utilizaron dos enfoques de AE:
 - ✓ Algoritmos genéticos.
 - ✓ Programación genética.

Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (2008), 22, 235–247. Printed in the USA.
Copyright © 2008 Cambridge University Press 0898-0604/08 \$25.00
doi:10.1017/S0898060408000164

Human-competitive evolved antennas

JASON D. LOHN,¹ GREGORY S. HORNBY,² AND DEREK S. LINDEN²
¹Carnegie Mellon University, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, USA
²University of Texas at Austin, NASA Ames Research Center, Santa Cruz, California, USA
(Received February 16, 2005; Accepted July 2, 2007)

Abstract
We present a case study showing a human-competitive design of an evolved antenna that was deployed on a NASA spacecraft in 2006. We were fortunate to develop our antennas in parallel with another group using traditional design methods. The evolved antennas designed by our group were human-competitive with the hand-designed antennas. The hand-designed antennas could be directly compared to the human-designed antennas. The antennas described below were evolved to meet a challenging set of mission requirements, most notably the combination of wide beamwidth for a circularly polarized wave and wide bandwidth. Two evolutionary algorithms were used in the development process: one used a genetic algorithm with a tree-structured representation that allowed branching in the antenna arms, and another used a genetic programming-style tree-structured representation that allowed branching in the antenna arms. The highest performance antennas from both algorithms were fabricated and tested, and both yielded very similar performance. Both antennas were comparable in performance to hand-designed antennas. One antenna was selected for flight, and three copies of it were successfully flown on NASA's Space Technology 5 mission between March 22 and June 30, 2006. These evolved antennas represent the first evolved hardware in space and the first evolved antennas to be deployed.

Keywords: Antenna; Computational Design; Design; Evolutionary Computation; Genetic Programming; Spacecraft; Wire Antenna

REPRESENTACIÓN

- ▶ Brazos de alambre sin ramificaciones.
- ▶ El diseño se especificaba mediante un conjunto de escalares de valor real que representaban las coordenadas de los puntos a lo largo del alambre.

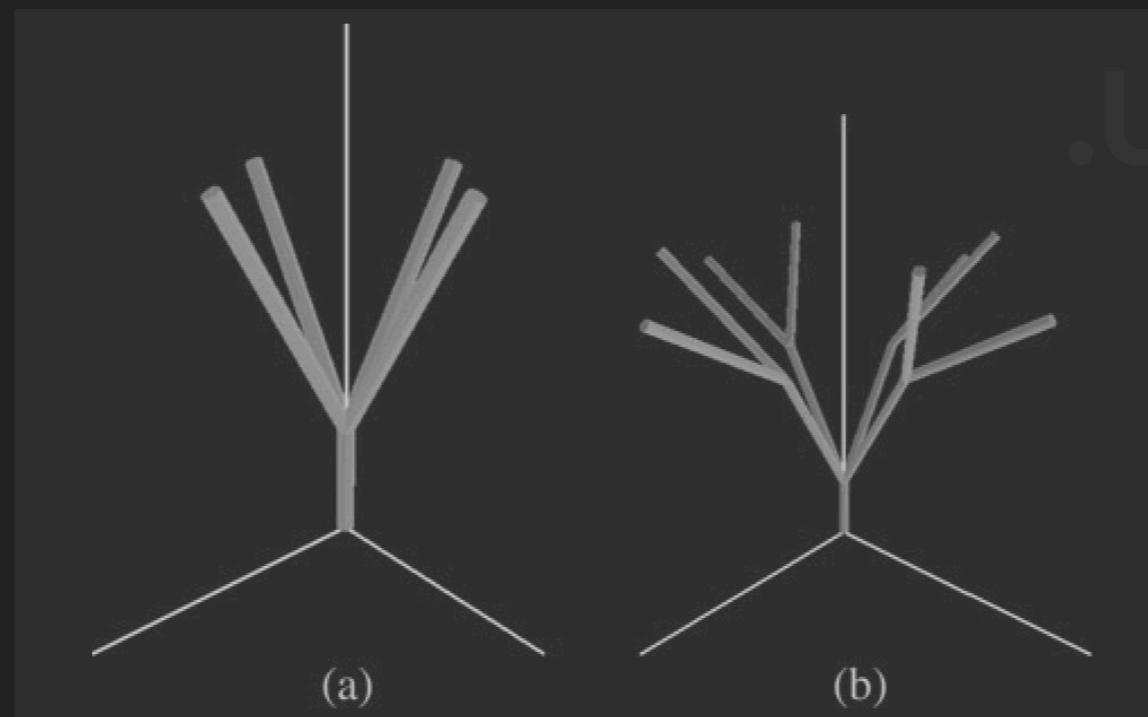


Fig. 4. Example antennas: (a) nonbranching arms and (b) branching arms.

EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN

- ▶ Para una definir antena simple de un solo segmento de alambre se necesita dos puntos:

Punto de inicio: (x_1, y_1, z_1)

Punto final: (x_2, y_2, z_2)

- ▶ El "genoma" de esta antena de un solo segmento sería una lista de estos 6 números reales:

$[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2]$

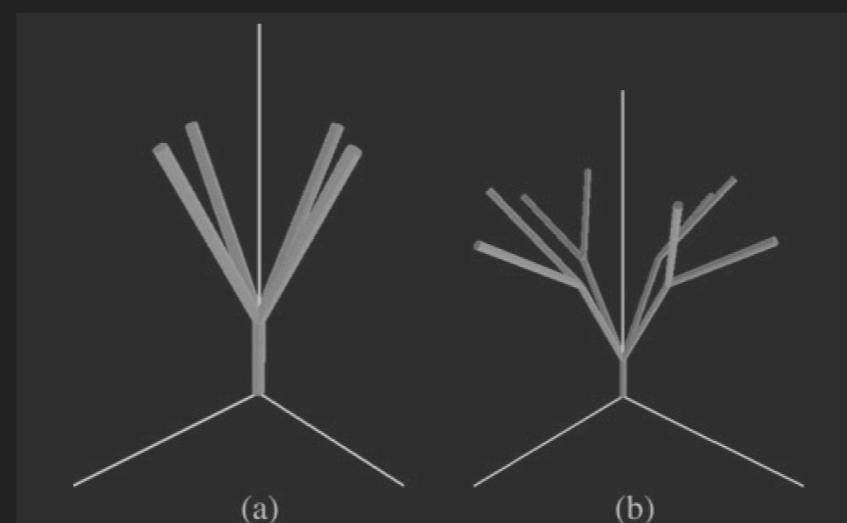


Fig. 4. Example antennas: (a) nonbranching arms and (b) branching arms.

EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN

- ▶ Si el brazo tuviera dos segmentos conectados se necesitaría tres puntos:
 - ✓ inicio del primer segmento
 - ✓ unión de los dos segmentos
 - ✓ fin del segundo segmento
- ▶ El genoma resultaría en 9 números reales:

$$[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3]$$

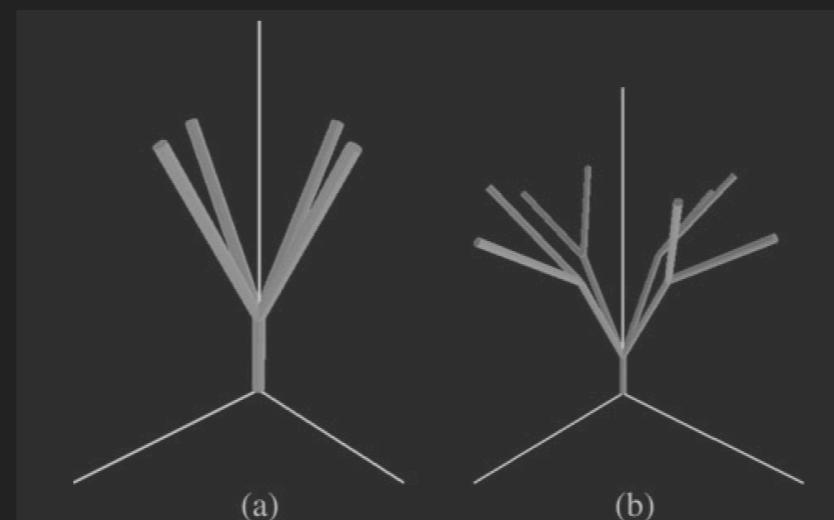


Fig. 4. Example antennas: (a) nonbranching arms and (b) branching arms.

EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN

- ▶ El artículo menciona "para un diseño de cuatro segmentos se requieren 12 parámetros".
- ▶ Se definieron 4 puntos después del punto de alimentación inicial, donde cada punto tiene 3 coordenadas (x, y, z).

$$(4 \text{ puntos}) * (3 \text{ coordenadas/punto}) = 12 \text{ parámetros (escalares de valor real)}$$

$$[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3, x_4, y_4, z_4]$$

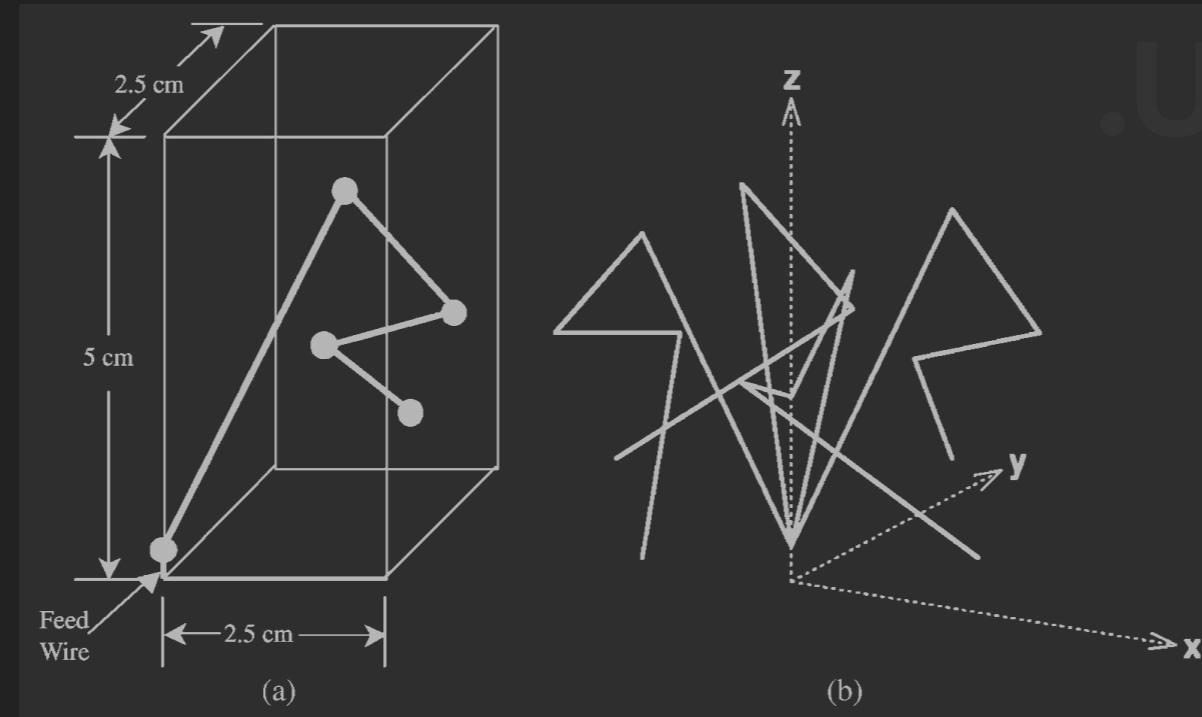
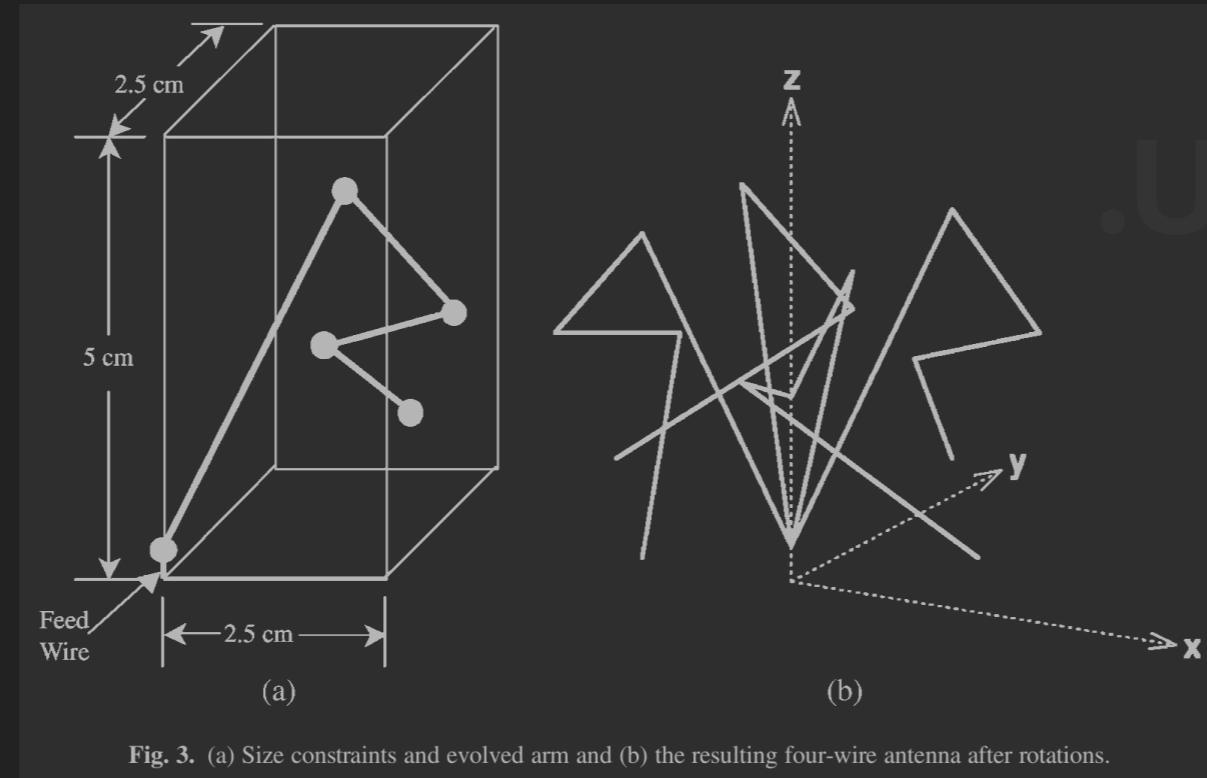


Fig. 3. (a) Size constraints and evolved arm and (b) the resulting four-wire antenna after rotations.

EVOLUCIÓN

- ▶ **Evolución:** Se utilizó un algoritmo genético (AG) estándar con métodos como el apareamiento de **Adewuya** y la mutación gaussiana.



CRUZA DE ADEWUYA

- ▶ También llamado método de **cruza cuadrática (Quadratic Crossover)** .
- ▶ Objetivo: Dado un **gen j** crear un nuevo valor **d_j** para el hijo usando interpolación cuadrática en base a los genes y aptitudes de **tres padres**.
- ▶ Se parte de tres padres:

$$P1=\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$$

$$P2=\{v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2n}\}$$

$$P3=\{v_{31}, v_{32}, \dots, v_{3n}\}$$

- ▶ Cada uno tiene una aptitud asociada: f_1, f_2, f_3
- ▶ Para cada **gen j**:
 - ✓ Se considera que existe una relación entre el **valor del gen v_{ij}** y la **aptitud f_i** .
 - ✓ Se ajusta una parábola $h_j(\xi) = a_j\xi^2 + b_j\xi + c_j$ que pasa por los tres puntos: $(v_{1j}, f_1), (v_{2j}, f_2), (v_{3j}, f_3)$.
- ▶ Se calcula el máximo de la parábola:
$$\xi_j^* = -\frac{b_j}{2a_j}$$
 - ✓ Si ξ_j^* está dentro del rango válido del **gen j** (es decir, $L_j \leq \xi_j^* \leq U_j$), se asigna ese valor al hijo $d_j = \xi_j^*$.
 - ✓ Si no se puede calcular porque hay valores repetidos o no se cumple la condición, se pasa al siguiente paso.

CRUZA DE ADEWUYA - EJEMPLO

Padre $P_1 \rightarrow$ Gen $V_{1j}=1 \rightarrow$ Aptitud $f_1=5$

Padre $P_2 \rightarrow$ Gen $V_{2j}=1 \rightarrow$ Aptitud $f_2=6$

Padre $P_3 \rightarrow$ Gen $V_{3j}=1 \rightarrow$ Aptitud $f_3=4$

- ▶ Rango permitido para el gen: $[L_j, U_j] = [0, 5]$
- ▶ Dado tres puntos: $(v_{1j}, f_1), (v_{2j}, f_2), (v_{3j}, f_3)$
- ▶ Se trata de encontrar un polinomio cuadrático: $h_j(\xi) = a_j\xi^2 + b_j\xi + c_j$
- ▶ tal que: $h_j(v_{1j}) = f_1, h_j(v_{2j}) = f_2, h_j(v_{3j}) = f_3$

CRUZA DE ADEWUYA - EJEMPLO

- ▶ Es un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas a_j, b_j, c_j :

$$\begin{aligned} a_j v_{1j}^2 + b_j v_{1j} + c_j &= f_1 \\ a_j v_{2j}^2 + b_j v_{2j} + c_j &= f_2 \\ a_j v_{3j}^2 + b_j v_{3j} + c_j &= f_3 \end{aligned}$$

- ▶ Este sistema puede resolverse con álgebra lineal o sustitución:

$$a_j = -1.5, b_j = 5.5, c_j = 1.0$$

- ▶ Se calcula el máximo de la parábola:

$$\xi_j^* = -\frac{b_j}{2a_j} = -\frac{5.5}{2 \cdot (-1.5)} = -\frac{5.5}{-3} = 1.83\bar{3}$$

- ▶ Como $\xi_j^* \approx 1.83 \in [0, 5]$, entonces: $d_j = \xi_j^* = 1.83$

- ▶ El nuevo valor del hijo para el gen j es: $d_j = 1.83$

MUTACIÓN GAUSSIANA

- Para cada gen seleccionado para mutar, se le añade un valor aleatorio extraído de una **distribución gaussiana (normal)** con media cero y una desviación estándar específica.

$$\text{nuevo_valor_gen} = \text{valor_gen_original} + N(0, \sigma)$$

- Donde $N(0, \sigma)$ es un número aleatorio de una distribución normal con media 0 y desviación estándar σ .
- La desviación estándar (σ) controla la "fuerza" de la mutación.
- Un σ pequeño produce pequeños cambios, mientras que un σ grande puede producir cambios mayores.
- En el artículo se menciona "la desviación estándar de la mutación gaussiana del 10% del rango del valor". Esto significa que σ se ajustaba para que las mutaciones típicas fueran alrededor del 10% del rango posible para ese parámetro.

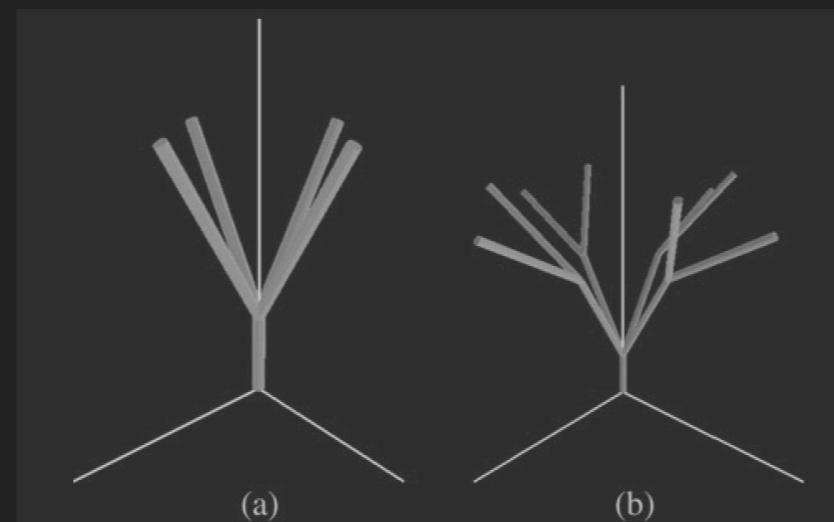


Fig. 4. Example antennas: (a) nonbranching arms and (b) branching arms.

ENFOQUE CON ALGORITMOS GENÉTICOS

- ▶ **Función de Aptitud:** Se centró en la calidad del patrón (qué tan bien el patrón de ganancia coincidía con un objetivo) en las dos frecuencias operativas.

$$F = PQ_{7.2} + PQ_{8.47}$$

- ▶ Ambos valores PQ son proporcionados por NEC4 cada vez que se le introduce una topología de antena (puntos o coordenadas de cada segmento).

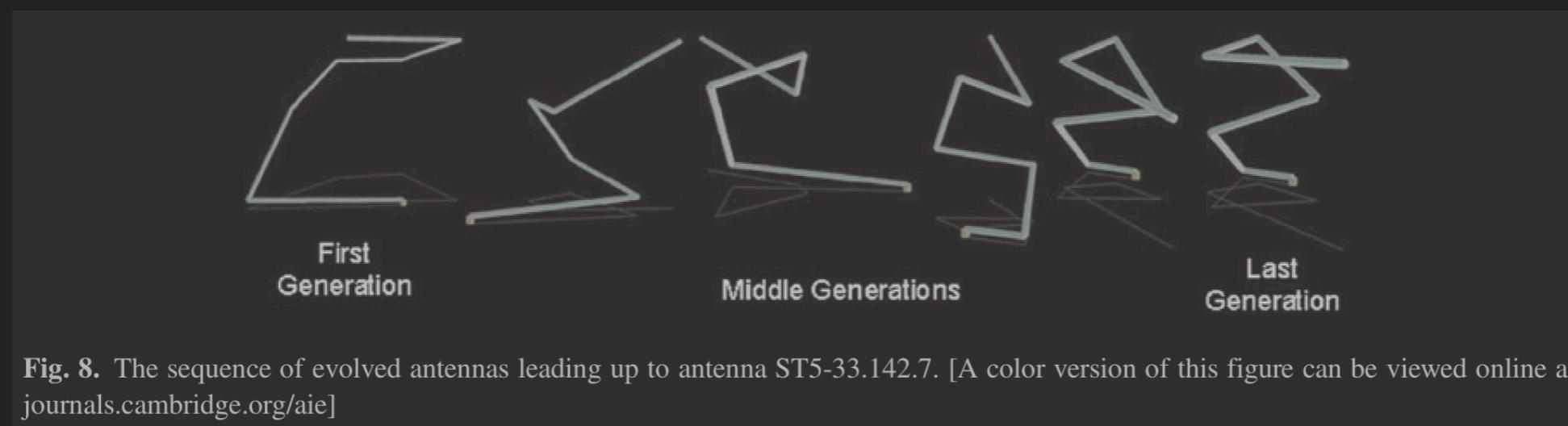
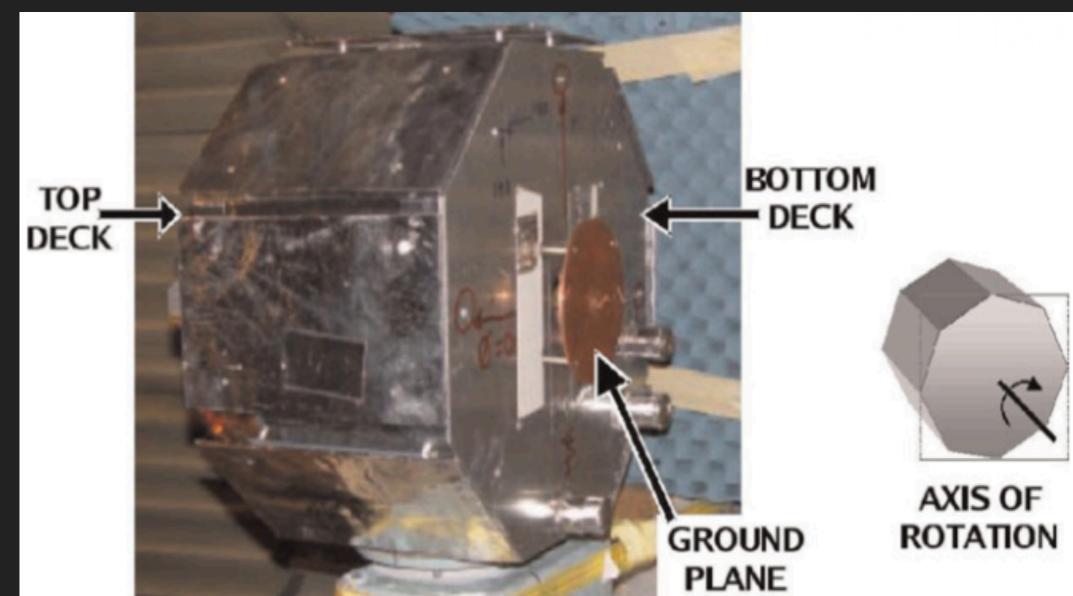
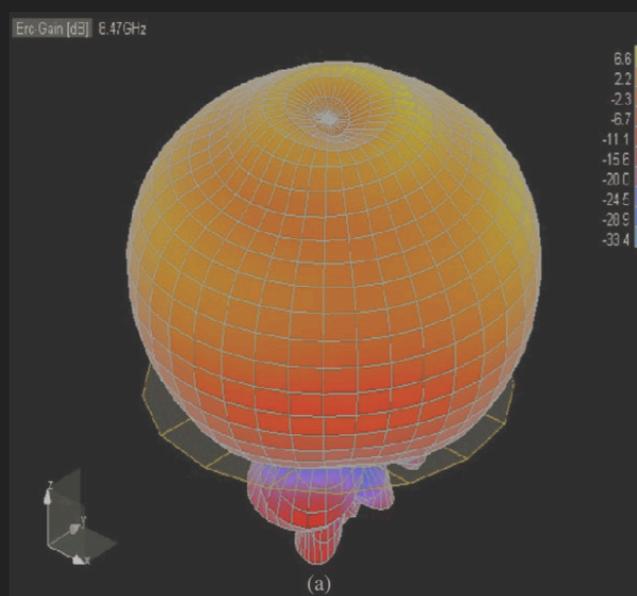


Fig. 8. The sequence of evolved antennas leading up to antenna ST5-33.142.7. [A color version of this figure can be viewed online at journals.cambridge.org/aie]

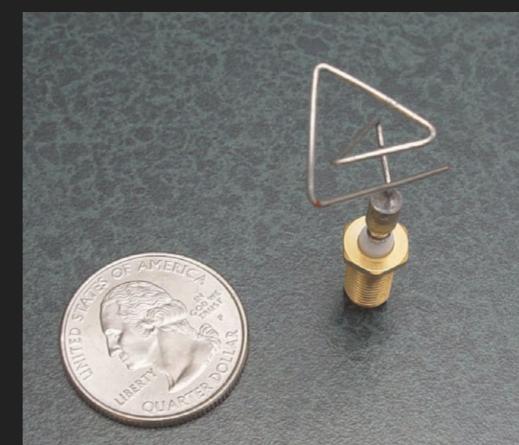
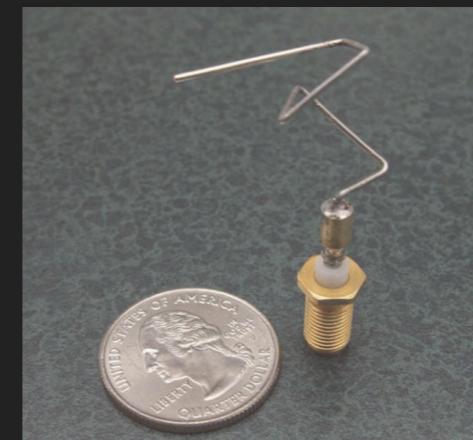
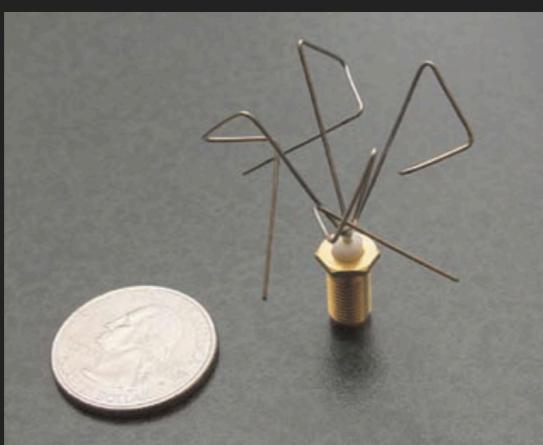
SIMULACIÓN Y CONFIGURACIÓN

- ▶ Se utilizó un clúster Linux de 80 nodos para los cálculos.
- ▶ NEC4 (Numerical Electromagnetics Code) fue la principal herramienta de simulación.
- ▶ Inicialmente, se asumió un **plano de tierra infinito** para acelerar durante la evolución. Los diseños prometedores se analizaron posteriormente sobre un **plano de tierra finito** que representaba la nave espacial.
- ▶ Se utilizó WIPL-D (otro paquete de simulación) para evaluaciones posteriores con un **plano de tierra de 6 pulgadas**.



RESULTADOS

- ▶ El trabajo demostró con éxito que los AEs pueden producir diseños competitivos con el ser humano para problemas complejos de ingeniería del mundo real.
- ▶ Beneficios de las Antenas Evolucionadas sobre el Diseño Convencional:
 - ✓ Mejor cobertura
 - ✓ Eficiencia significativamente mayor
 - ✓ Menos piezas (menor costo, mayor fiabilidad, fabricación más fácil)
 - ✓ Adaptadas naturalmente a 50Ω (sin circuitos de adaptación adicionales)
 - ✓ Tiempo de diseño más rápido
 - ✓ Capacidad de rediseño rápido (crucial para los requisitos de la NASA, que cambian a menudo).
- ▶ Los AEs exploraron una vasta gama de diseños inusuales, de aspecto "orgánico", que los diseñadores humanos probablemente no concebirían.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEB (I)

- ▶ Lohn, J. D., Hornby, G. S., & Linden, D. S. (2008). Human-competitive evolved antennas. *AI EDAM*, 22(3), 235-247.
- ▶ Adewuya, A. A. (1996). New methods in genetic search with real-valued chromosomes (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).