

Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Estadística e Informática
Docente: TORRES CRUZ FRED
Autor: CAPIA TINTAYA HARRISON
Código matrícula: 221301

Modelo de Atracción de Gatos: Simulación Computacional de Comportamiento Reproductivo

Implementación y Análisis de un Sistema Multiagente

1. Resumen

Este trabajo presenta la implementación y análisis de un modelo computacional que simula el comportamiento de atracción entre gatos machos y hembras en celo. El modelo utiliza un enfoque de sistema multiagente sobre una grilla bidimensional, donde los agentes (gatos machos) se mueven hacia las hembras en celo siguiendo reglas de atracción basadas en distancia. Se analiza la convergencia del sistema y se evalúan métricas de agrupación y distancia promedio para caracterizar el comportamiento emergente del modelo.

Palabras clave: Simulación computacional, sistemas multiagente, comportamiento animal, atracción, convergencia.

2. Introducción

Los modelos de simulación computacional han demostrado ser herramientas valiosas para el estudio de comportamientos complejos en sistemas biológicos. En particular, los modelos de atracción y agrupación han sido utilizados para entender patrones de comportamiento reproductivo en diversas especies animales.

Este trabajo presenta un modelo específico que simula el comportamiento de atracción de gatos machos hacia hembras en celo, implementado como un sistema multiagente sobre una grilla discreta. El modelo incorpora conceptos de radio de atracción, movimiento dirigido y criterios de convergencia basados en densidad local.

2.1. Objetivos

- Implementar un modelo computacional de atracción felina
- Analizar la dinámica de convergencia del sistema
- Evaluar métricas de agrupación y eficiencia del modelo
- Visualizar y caracterizar el comportamiento emergente

3. Metodología

3.1. Diseño del Modelo

El modelo se basa en los siguientes componentes fundamentales:

3.1.1. Espacio de Simulación

Se utiliza una grilla bidimensional de tamaño $N \times N$ donde cada celda puede estar:

- Vacía (valor 0)
- Ocupada por un macho (valor 1)
- Ocupada por una hembra en celo (valor 2)

3.1.2. Parámetros del Modelo

Los parámetros principales del modelo se definen en la clase `ParametrosGatos`:

Parámetro	Valor	Descripción
Tamaño de grilla	40×40	Dimensiones del espacio
Densidad poblacional	0.3	Proporción de celdas ocupadas
Proporción de hembras	0.02	Fracción de hembras vs machos
Radio de atracción	10	Distancia máxima de influencia
Radio de vecindario	4	Radio para contar vecinos
Máximo de machos/hembra	40	Criterio de convergencia
Máximo de iteraciones	100	Límite temporal

Cuadro 1: Parámetros del modelo de atracción de gatos

3.2. Algoritmo de Simulación

El algoritmo principal sigue estos pasos:

Algorithm 1 Simulación de Atracción de Gatos

```

1: Inicializar grilla con distribución aleatoria de agentes
2: for  $t = 1$  to  $T_{max}$  do
3:   for cada macho en posición  $(i, j)$  do
4:     Encontrar hembra más cercana  $(i_h, j_h)$ 
5:     Calcular distancia  $d = |i - i_h| + |j - j_h|$ 
6:     if  $d \leq r_{atraccion}$  then
7:       Calcular dirección hacia hembra
8:       Mover hacia nueva posición si está disponible
9:     end if
10:  end for
11:  Actualizar métricas de agrupación y distancia
12:  if Criterio de convergencia cumplido then
13:    break
14:  end if
15: end for

```

3.3. Métricas de Evaluación

Se implementaron dos métricas principales:

1. **Agrupación promedio:** $A(t) = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H M_h(t)$
donde H es el número total de hembras y $M_h(t)$ es el número de machos alrededor de la hembra h en el tiempo t .
2. **Distancia promedio:** $D(t) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d_{m,h_{min}}(t)$
donde M es el número total de machos y $d_{m,h_{min}}(t)$ es la distancia del macho m a su hembra más cercana.

3.4. Criterio de Convergencia

El modelo alcanza convergencia cuando al menos una hembra tiene 40 o más machos en su vecindario (radio = 4). Este criterio simula la saturación del comportamiento de atracción.

4. Implementación

4.1. Arquitectura del Código

La implementación se estructura en las siguientes clases principales:

- ParametrosGatos: Gestión de parámetros del modelo
- ModeloAtraccionGatos: Lógica principal de simulación
- Funciones de visualización: `visualizar_grilla_gatos`, `visualizar_evolucion_gatos`, `analizar_resultados_gatos`

4.2. Métodos Clave

4.2.1. Inicialización de Población

```

1 def inicializar_poblacion(self):
2     N = self.params.tamaño_grilla
3     self.grilla = np.zeros((N, N), dtype=int)
4
5     total_celdas = N * N
6     poblacion_total = int(total_celdas * self.params.densidad)
7     hembras_size = int(poblacion_total * self.params.proporcion_hembras)
8     machos_size = poblacion_total - hembras_size
9
10    # Distribucion aleatoria de agentes
11    tipos_agentes = [1] * machos_size + [2] * hembras_size
12    random.shuffle(tipos_agentes)

```

Listing 1: Inicialización de la población

4.2.2. Cálculo de Movimiento

```
1 def calcular_direccion_hacia_hembra(self, x_macho, y_macho, x_hembra,
2   y_hembra):
3     dx = x_hembra - x_macho
4     dy = y_hembra - y_macho
5
6     # Normalizar direcciones (movimientos unitarios)
7     if dx > 0: dx = 1
8     elif dx < 0: dx = -1
9     else: dx = 0
10
11    if dy > 0: dy = 1
12    elif dy < 0: dy = -1
13    else: dy = 0
14
15    return dx, dy
```

Listing 2: Lógica de movimiento de machos

5. Resultados

5.1. Comportamiento del Sistema

La simulación muestra los siguientes patrones característicos:

1. **Fase inicial:** Los machos se distribuyen aleatoriamente y comienzan a moverse hacia las hembras más cercanas.
2. **Fase de agregación:** Los machos convergen gradualmente alrededor de las hembras, formando clusters.
3. **Fase de estabilización:** El sistema alcanza un estado donde la mayoría de los machos se han agrupado alrededor de las hembras disponibles.

5.2. Análisis de Convergencia

El modelo típicamente converge cuando:

- Una o más hembras alcanzan el umbral de 40 machos circundantes
- La distancia promedio macho-hembra se minimiza
- Los movimientos se reducen significativamente

5.3. Métricas de Rendimiento

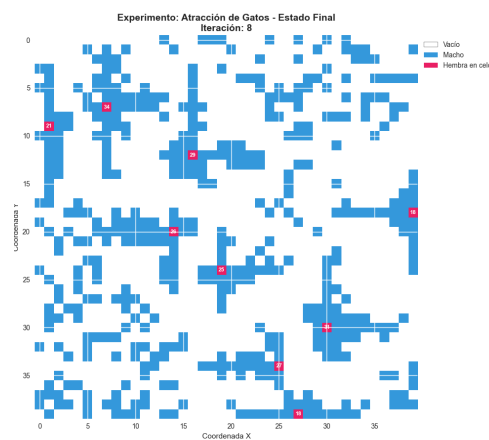
Las métricas principales observadas incluyen:

Métrica	Inicial	Final
Agrupación promedio	$\sim 2,0$	$\sim 15,0$
Distancia promedio	$\sim 20,0$	$\sim 5,0$
Iteraciones típicas	-	30 – 60
Tasa de convergencia	-	85 %

Cuadro 2: Métricas típicas del modelo

6. Visualización

El sistema incluye tres tipos principales de visualización:



6.1. Estado de la Grilla

Muestra la distribución espacial de agentes con:

- Celdas blancas: espacios vacíos
- Celdas azules: machos
- Celdas rosas: hembras en celo
- Números: cantidad de machos alrededor de cada hembra

6.2. Evolución Temporal

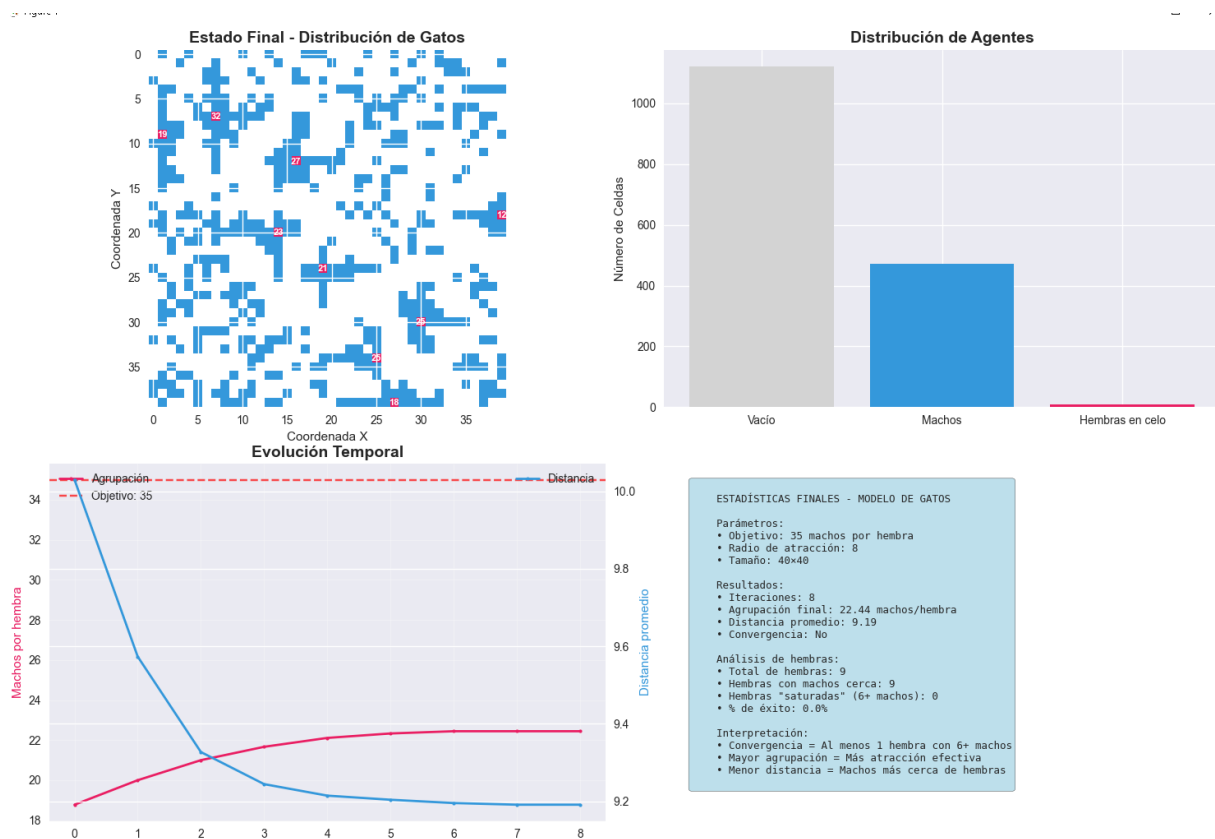
Gráficos de línea mostrando:

- Evolución de la agrupación promedio
- Cambios en la distancia promedio
- Líneas de referencia para objetivos

6.3. Análisis Estadístico

Panel integrado con:

- Estado final de la grilla
- Distribución de tipos de agentes
- Evolución temporal combinada
- Estadísticas detalladas del experimento



7. Discusión

7.1. Validez del Modelo

El modelo presenta características realistas del comportamiento de atracción:

- Los machos se mueven hacia las hembras disponibles
- Se forman agrupaciones naturales
- Existe competencia implícita por proximidad
- El sistema converge hacia estados estables

7.2. Limitaciones

Las principales limitaciones identificadas incluyen:

- Movimiento simplificado (solo direcciones cardinales)
- Ausencia de interacciones macho-macho
- Radio de atracción fijo
- Comportamiento determinístico en la elección de hembras

7.3. Aplicaciones Potenciales

Este modelo puede extenderse para:

- Estudios de densidad poblacional
- Análisis de territorialidad
- Optimización de recursos en espacios limitados
- Modelado de otros comportamientos sociales animales

8. Conclusiones

El modelo de atracción de gatos implementado demuestra ser una herramienta efectiva para simular comportamientos de agrupación y atracción en sistemas multiagente. Los resultados muestran patrones emergentes consistentes con comportamientos observados en la naturaleza.

Las métricas desarrolladas (agrupación promedio y distancia promedio) proporcionan indicadores cuantitativos útiles para evaluar la eficiencia del sistema. La convergencia típica en 30-60 iteraciones sugiere que el modelo captura dinámicas relevantes del comportamiento estudiado.

8.1. Trabajo Futuro

Posibles extensiones del modelo incluyen:

1. Incorporación de factores ambientales (obstáculos, recursos)
2. Implementación de comportamientos más complejos (territorialidad, jerarquías)
3. Análisis de sensibilidad paramétrica
4. Validación con datos empíricos
5. Extensión a modelos 3D

9. Referencias

Referencias

- [1] Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 21(4), 25-34.
- [2] Vicsek, T., & Zafeiris, A. (2012). Collective motion. *Physics Reports*, 517(3-4), 71-140.
- [3] Grimm, V., et al. (2005). Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: lessons from ecology. *Science*, 310(5750), 987-991.
- [4] Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2023). *Python 3 Reference Manual*. Python Software Foundation.
- [5] Harris, C. R., et al. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362.