

Inteligencia Artificial

Julio Ticona Quispe - Jesus Vera Callme

Universidad Catolica San Pablo

Análisis del Paper

"Combinando estigmergia y movimiento colectivo para coordinar el comportamiento de los enjambres de drones que realizan búsqueda de objetivos"

Presentando en :

6th Conferencia Internacional en información, inteligencia, sistemas y aplicaciones (IISA), 2015, Corfú, Grecia

Análisis del Paper

Department of Information Engineering
University of Pisa
Pisa, Italy

Autores :

- Mario G. C. A. Cimino
- Alessandro Lazzeri
- Gigliola Vaglini

mario.cimino@unipi.it

alessandro.lazzeri@for.unipi.it

gigliola.vaglini@unipi.it

Drones

Enjambre (swarm)



Estigmergia (stigmergy)

Estigmergia (también llamada a veces **estigmergia**) significa colaboración a través del medio físico [1].

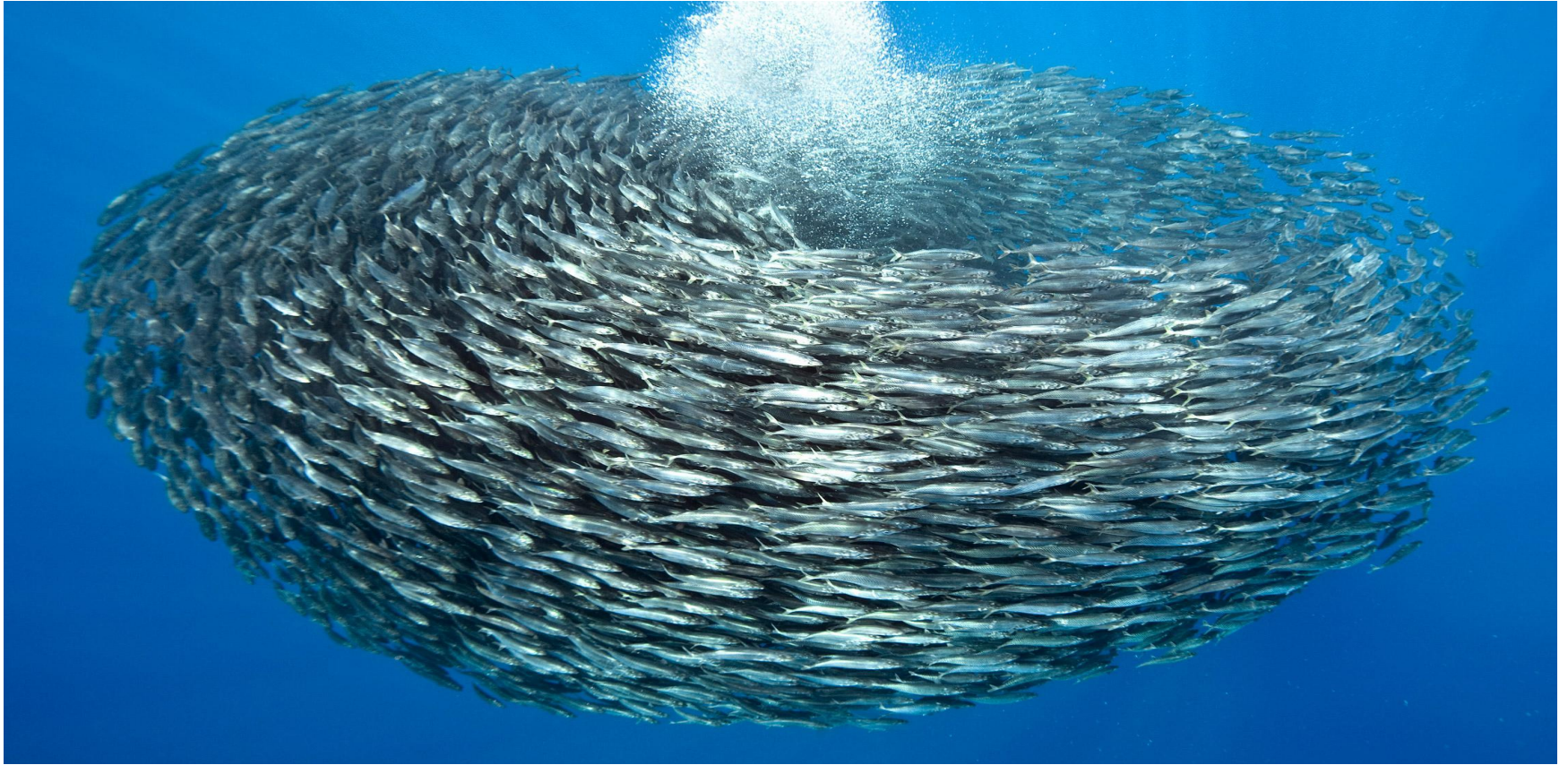


[1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Estigmergia>

Comportamiento Colectivo (Flocking)

- ❑ Desde la perspectiva de modelamiento matemático, **"flocking"** es **el movimiento colectivo** de un número de entidades autopropulsadas [2].
- ❑ Flocking es un comportamiento colectivo de los animales exhibidos por muchos seres vivos, como aves, peces, bacterias e insectos [2].
- ❑ Se considera un comportamiento emergente que surge de reglas simples que son seguidos por los individuos y no implica ningún tipo de coordinación central [2].

Flocking



Abstract

Abstract

- ❑ Debido a la creciente resistencia, la seguridad y la no-invasividad, drones pueden ser cada vez más útiles en el mundo real.
- ❑ Su limitado poder de cálculo puede ser asimilado en los algoritmos de simulación de enjambres, realizando estas tareas en una manera escalable.
- ❑ Este paper se enfoca en los aspectos necesarios de coordinación entre los drones, para realizar la búsqueda de objetivos.

Abstract

- ❑ Mostramos como la búsqueda de objetivos puede completarse mediante la combinación de estigmergia y comportamientos de movimiento colectivo.
- ❑ La **estigmergia** se produce cuando un dron detecta un objetivo potencial, mediante la liberación de *feromonas digitales* en su ubicación.
- ❑ Como una consecuencia la intensidad de las feromonas crea un *campo potencial espacio-temporal* atractivo para la coordinación de un enjambre de drones para visitar un objetivo potencial.

Abstract

- ❑ **Flocking** ocurre cuando drones están organizados espacialmente en grupos, cuyos miembros tratan de permanecer en un rango entre ellos.
- ❑ En este paper presentamos un novedoso y descentralizado modelo para la búsqueda de objetivos, y experimentamos de manera empírica usando una **plataforma de simulación**.
- ❑ Las diferentes combinaciones de estrategias son revisadas, describiendo su desempeño en una serie de escenarios sintéticos y del mundo real.

Abstract

- ❑ **Flocking** ocurre cuando drones están organizados espacialmente en grupos, cuyos miembros tratan de permanecer en un rango entre ellos.
- ❑ En este paper presentamos un novedoso y descentralizado modelo para la búsqueda de objetivos, y experimentamos de manera empírica usando una **plataforma de simulación**.
- ❑ Las diferentes combinaciones de estrategias son revisadas, describiendo su desempeño en una serie de escenarios sintéticos y del mundo real.

Introducción

Introducción

Uso actual de Drones para :

- Inteligencia Militar
- Reconocimiento, vigilancia y patrullaje
- Monitoreo de Trafico
- Localización de incendios forestales
- Estudios científicos en condiciones peligrosas
- Búsqueda y rescate

Ventajas :

- Barato con respecto a otros medios
- Uso en enjambre
- Configurable (sensores especializados)

Introducción

- ❑ Uso de tecnologías colectivas-cooperativas (enjambre) para problemas escalables
- ❑ Ventajas de implementar modelo enjambre en drones:
 - Robustez (reponerse al perder a un individuo)
 - Escalabilidad (realizar grandes tareas)
 - Flexibilidad (en entornos y tareas variadas)
- ❑ Cada individuo del enjambre debe actuar
 - Actuar con cierto nivel de autonomía
 - Realizar solo detección local y comunicación
 - Operar sin control centralizado o conocimiento global
 - Cooperar para lograr tareas globales

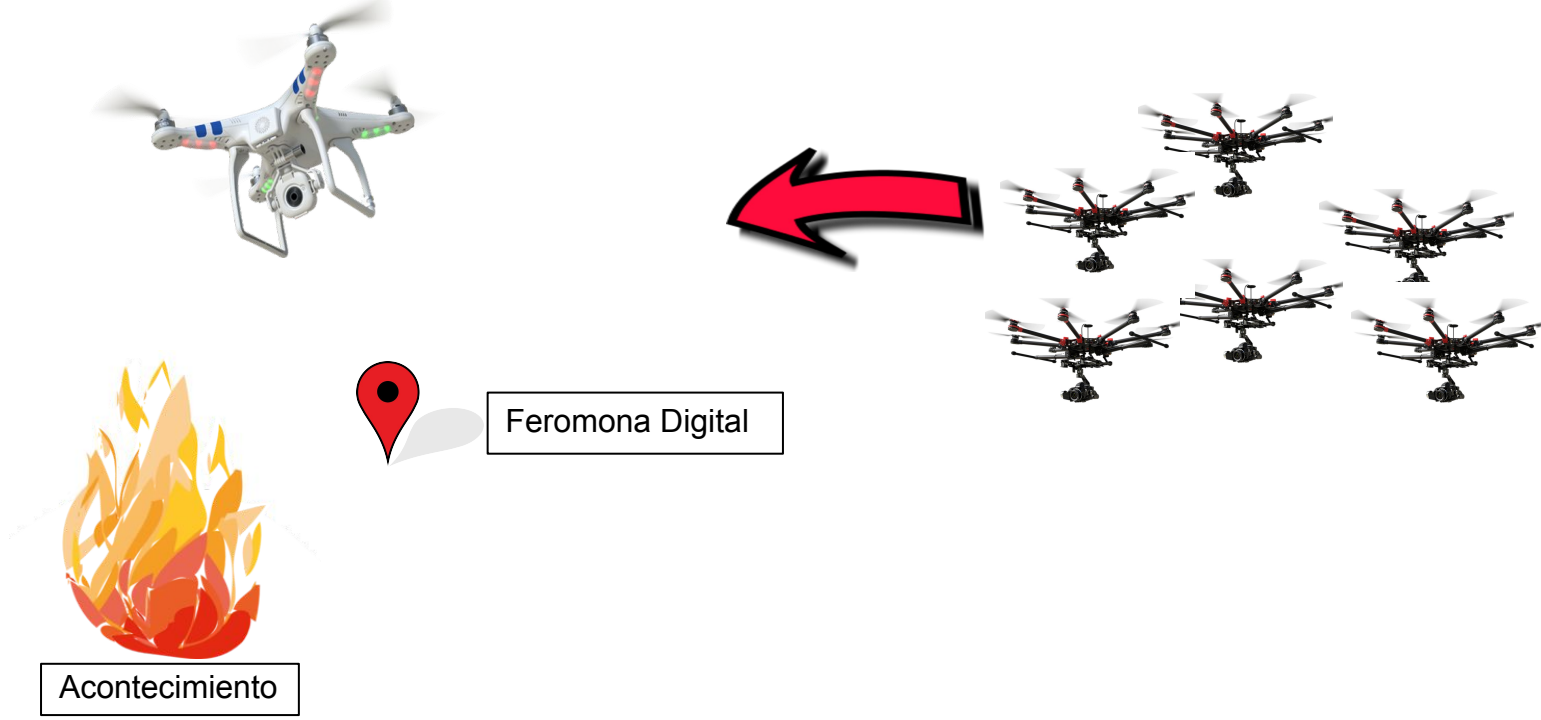
Introducción

- ❑ Desde punto de vista estructural cada drone está dotado de:
 - Capacidad de comunicación inalámbrica.
 - Capacidad de auto-ubicación (GPS)
 - Capacidad para detectar objetivos, capturar muestras.
 - Procesador de capacidad de computacion limitada
 - Capacidad de evitar obstáculos

- ❑ Un mecanismo fundamental para la coordinación enjambre es usar un "marcador" basado en estigmergia (colaboración)
 - Individuos dejan información en su entorno en forma de feromona (sustancias volátiles)

Introducción

- ❑ Si el dron encuentra un objetivo potencial, deja una porción de feromona (señal) en la ubicación, ésta actúa como atractivo potencial de drones.



Introducción

- ❑ La dimensión estructural de una **feromona** tiene que tener el tamaño medio de un enjambre.
 - Un tamaño más grande podría atraer a un número desproporcionado de drones.
 - Un tamaño menor no podría atraer a ninguno.

- ❑ Suponemos que se hace mapa de feromonas se construye y mantiene en cada región del espacio de búsqueda, y estarán disponibles en la estación de tierra para drones como una cerebro remoto.

Introducción

- ❑ Flocking(Comportamiento Colectivo) es una estrategia que permite la auto-organización de drones en un enjambres.
- ❑ Comportamiento Flocking es un efecto emergente de reglas individuales:
 - Separación (mantener una distancia mínima del enjambre)
 - Alineación (tendencia a moverse en la misma dirección que los drones cercanos)
 - Cohesión (tendencia a moverse hacia el enjambre y no separarse mucho)

Introducción

- ❑ En nuestro enfoque estigmergia y flocking (comportamiento colectivo) son 2 patrones de comportamiento que deberían trabajar en conjunto con otros patrones de comportamiento básicos como: evitar un obstáculo y reconocer un límite.
- ❑ El proceso de diseño de una estrategia es de "**abajo hacia arriba**"
 - Enfoque a nivel micro (agente)
 - Enfoque a nivel macro (enjambre o entidad global).

Introducción

Trabajos Relacionados

- ❑ Los trabajos publicados en el campo se pueden distinguir en tres categorías:
 - Utilizar una **sustancia física**, una feromona, que se transmite de **manera indirecta** entre robots por medio del **medio físico**.
 - El uso de una feromona **digital**, transmitida por la **comunicación directa** entre robots.
 - El uso de una feromona digital, transmitida por una **comunicación indirecta** entre robots.

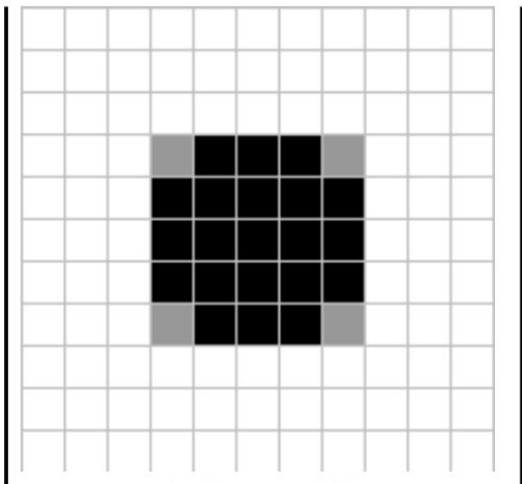
Diseño de entornos dinámicos y comportamiento del drone

Diseño de entornos dinámicos y comportamiento del drone

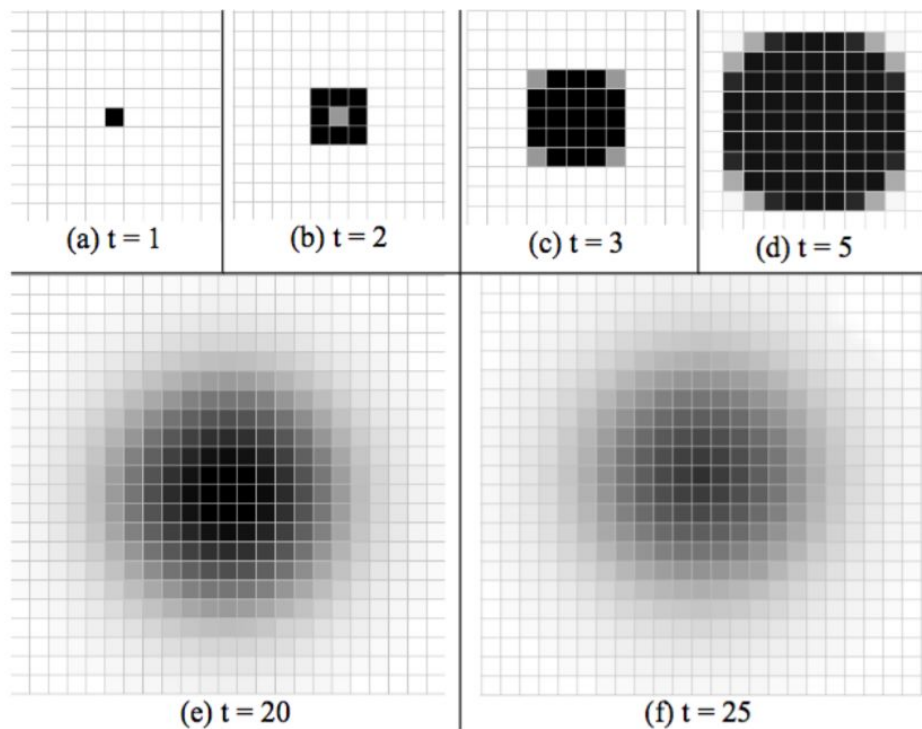
- ❑ Los trabajos publicados en el campo se pueden distinguir en tres categorías:
 - Utilizar una **sustancia física**, una feromona, que se transmite de **manera indirecta** entre robots por medio del **medio físico**.
 - El uso de una feromona **digital**, transmitida por la **comunicación directa** entre robots.
 - El uso de una feromona digital, transmitida por una **comunicación indirecta** entre robots (**Enfoque**).

A. La estructura del entorno y la dinámica de feromonas

- ❑ El entorno es una rejilla consistente de C^2 celdas, cada una identificada por un par (x, y) de coordenadas, con (x, y) pertenecen a $[1, \dots, C]$.
- ❑ Los niveles de intensidad de feromonas tienen diferentes gradaciones de grises: la más oscura es la más alta en intensidad.



A. La estructura del entorno y la dinámica de feromonas



- En **(a)** la feromona es liberada.
- En **(b)** la feromona es difundida a celdas cercanas, con una constante $\delta \in [0,1]$
- En **(c-d)** la feromona se difunde y luego se evapora, para con el tiempo disminuir su intensidad con una constante $\epsilon \in [0,1]$
- En **(e-f)** la feromona se evapora

Fig. 1. Escenario basico de feromonas dinamicas: (a) liberacion, (b) difusion principal, (c-d) difusion y evaporacion, (e-f) evaporacion principal.

A. La estructura del entorno y la dinámica de feromonas

- ❑ La intensidad " p " de la feromona x liberada en el instante " t " en la celda (x,y) es entonces expresada por la siguiente fórmula:

$$p_{x,y} = \epsilon \cdot [(1 - \delta) \cdot p_{x,y}(t - 1) + \Delta p_{x,y}(t - 1, t) + d_{x,y}(t - 1, t)]$$

δ : cte de velocidad de difusión.

ϵ : cte de velocidad de evaporación

$(1 - \delta) \cdot p_{x,y}(t - 1)$: cantidad restante después de difundir a celdas cercanas

$\Delta p_{x,y}(t - 1, t)$: depósitos adicionales hechos en el intervalo $(t - 1, t)$

$d_{x,y}(t - 1, t)$: feromona de entrada difundida desde todas las cercanas celdas

La formula en rojo al ser multiplicada por "epsilon" es la evaporacion.

8 celdas vecinas propaga la porcion δ de su feromona a la celda (x, y) en cada ciclo de actualizacion.

$$d_{x,y}(t - 1, t) = \frac{\delta}{8} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \underset{(i,j) \neq (0,0)}{p_{x+i,y+j}(t - 1)}$$

B. El comportamiento del Drone

- ❑ Básicamente, en cada ciclo de actualización (en lo sucesivo denominada señal), el comportamiento del drone se estructura en una lógica de tres capas, donde cada capa implementa un comportamiento básico:
 - Vuelo aleatorio (exploración) - capa baja.
 - Feromona basada en coordinación (explotación) - capa media.
 - Evitar objetos/límites y liberación de feromonas - capa alta.

B. El comportamiento del Drone

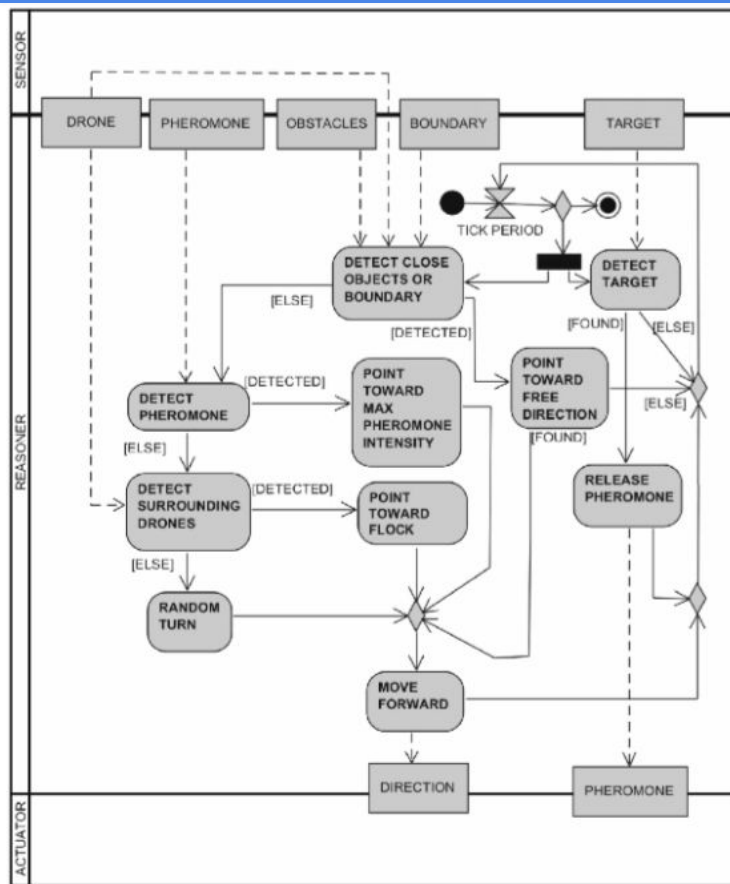


Fig. 2. Representacion general del comportamiento del drone

B. El comportamiento del Drone

❑ Más precisamente, cada unidad de período del drone realiza en paralelo:

- Detección de objetivos, para luego liberar feromonas.
 - Detección de objetos y límites cercanos.
-
- ❑ Si hay una **dirección libre siguen adelante**
 - ❑ Si no hay objetos cercanos detectados, los drones tratan de **detectar feromonas** y, si se detecta, apunta hacia la intensidad máxima de la misma (el drone es capaz de detectar las feromonas en la detección de feromonas a π distancia)
 - ❑ Si no se detecta la feromona, el drone intenta detectar drones que lo rodean con el fin de apuntar hacia el grupo. Por último, si no hay drones cerca, realiza un **giro al azar** y seguir adelante.

B. El comportamiento del Drone

- ❑ En el comportamiento de agrupamiento, el drone toma en cuenta únicamente los drones dentro de un radio de visibilidad de agrupamiento (ρ)

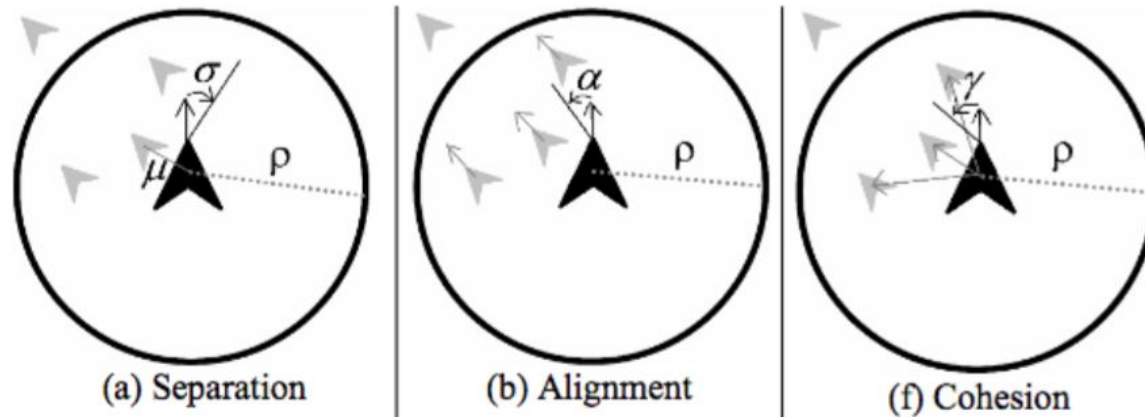


Fig. 3. Vision del radio de agrupacion y otros parametros en comportamiento de agrupamiento

B. El comportamiento del Drone

TABLE I. PARAMETROS ESTRUCTURALES Y DE COMPORTAMIENTO

<i>Parameter</i>	<i>Description (unit measure)</i>	<i>Section</i>	<i>Range</i>	<i>Set v.</i>
v	Drone horizontal speed (m/s)	III.B	(0,15)	1
θ	Drone max rand-fly turn angle ($^{\circ}$)	III.B	(0,180)	90
o	Drone object sensing distance (m)	III.B	(0, 5)	5
ρ	Flock visibility radius (m)	III.B	[0, 50]	10
μ	Flock mobility distance (m)	III.B	[0,5]	3
σ	Flock separation angle ($^{\circ}$)	III.B	(0,180)	20
α	Flock alignment angle ($^{\circ}$)	III.B	(0,180)	8
γ	Flock cohesion angle ($^{\circ}$)	III.B	(0,180)	5
I	Pheromone release intensity	III.A	(0, ∞)	50K
δ	Pheromone diffusion rate (%)	III.A	[0,1]	0.90
ε	Pheromone evaporation rate (%)	III.A	[0,1]	0.95
π	Pheromone sensing distance (m)	III.B	(0, ∞)	1

Estudios Experimentales

Estudios Experimentales

- ❑ El modelo propuesto se ha implementado en "NetLogo", una plataforma para la simulación de la inteligencia de enjambre.
- ❑ Para evaluar la eficacia del enfoque propuesto, hemos evaluado el rendimiento del modelo de los tres comportamientos básicos:
 - ❑ Vuelo aleatorio ("R de random")
 - ❑ El comportamiento estigmergético ("S de stigmergic")
 - ❑ El comportamiento estigmergetico y de agrupación (flocking) ("S + F").

Estudios Experimentales

NetLogo 5.3.1

The image displays the NetLogo 5.3.1 interface, which is divided into several sections:

- Top Left:** Control buttons for 'startup' and 'go'. Below them are four sliders: 'N-boyfish?' (11), 'N-girlfish?' (12), 'p-spawn' (0.3), and 'FilterFlow?' (730).
- Bottom Left:** A 'Fish' plot showing 'n fish/ water quality' over 'time' (0 to 1560). The plot includes three data series: Boyfish (blue), Girlfish (pink), and W-Qual (green). A legend titled 'Pens' identifies these series.
- Center:** A large 2D view of the simulation environment, showing a black background with a yellow grid. Numerous blue and pink fish are visible, along with a small red house.
- Right Side:** A series of monitors displaying simulation statistics: 'amount-food?' (33), 'change-water', 'Number spawned' (6140), 'Poor Water Deaths' (951), 'Number eaten' (4148), 'Old Age Deaths' (3), 'No food deaths' (1001), and 'Waterquality' (104.53).
- Bottom Right:** A '3D View' window showing a 3D perspective of the simulation environment. It includes a 'ticks: 236' monitor, a 'normal speed' slider, and a 'view updates' checkbox. The 3D view shows a green and white checkered floor, a red house, and various colored fish. A 'Settings...' button is also present.
- Bottom Center:** A 'Command Center' window with a 'Clear' button and a text input field.

Estudios Experimentales

- Para cada experimento, 10 ensayos se han llevado a cabo, mediante el uso como un indicador de rendimiento del tiempo necesario para detectar el 95% de los objetivos en el escenario.
- Hemos probado el modelo en 5 escenarios diferentes.
 - Forest (Bosque)
 - Field (Campo)
 - Urban (Urbano)
 - Rural Mines (Minas Rurales)
 - Urban Mines (Minas Urbanas)

Estudios Experimentales

TABLE II. RESULTADOS NUMERICOS

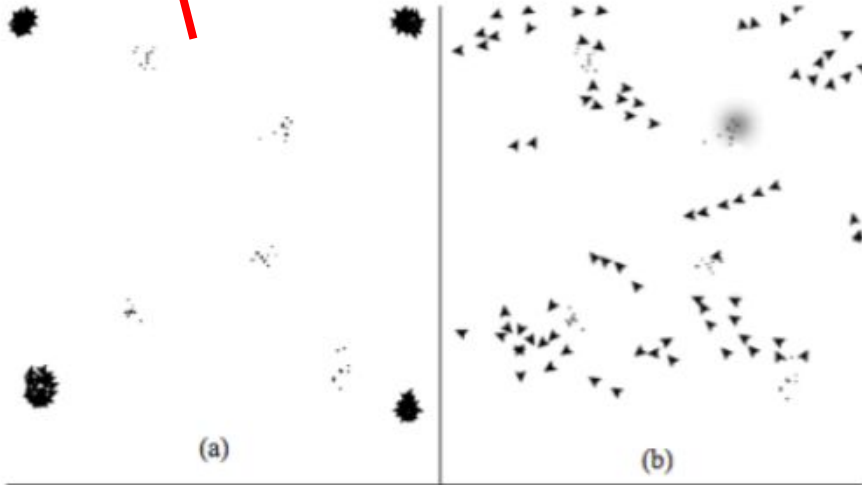
<i>Scenario</i>	<i>Nº of targets / clusters</i>	<i>Type / nº of obstacles</i>	<i>Drones</i>	<i>Completion time (ticks)</i>	
Field	50 / 5	Trees: 0 Build: 0	80	R	1756 ± 178
				S	802 ± 160
				S+F	689 ± 142
Forest	20 / 1	Trees: 400 Building: 0	80	R	2378 ± 512
				S	744 ± 194
				S+F	677 ± 68
Urban	110 / 2	Tree: 0 Building: 7	40	R	1448 ± 106
				S	861 ± 148
				S+F	800 ± 73
Rural Mines	28 / 28	Tree: 281 Building: 3	200	R	724 ± 83
				S	694 ± 88
				S+F	666 ± 68
Urban Mines	40 / 40	Trees: 54 Building: 28	25	R	354 ± 25
				S	455 ± 60
				S+F	415 ± 44

La Tabla II resume las características y los resultados de cada escenario, en la forma "± de un intervalo de confianza".

Este resultado podría atribuirse al hecho de que el mapa Minas urbana tiene un muy complejo diseño de obstáculos, que hace que la navegación agrupada difícil y difícil la estrategia de coordinación. Vale la pena señalar que todos los escenarios se han procesado mediante el uso de un propósito de parametrización general.

Estudios Experimentales

Estado inicial, con 80 drones repartidos en 4 enjambres

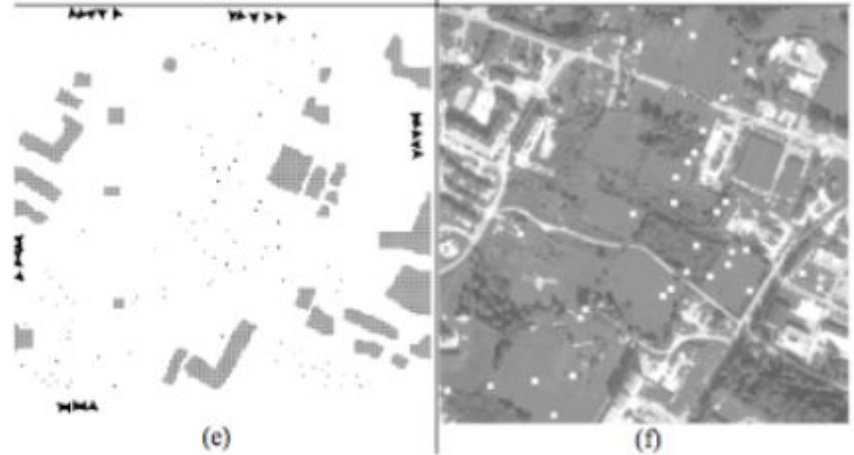
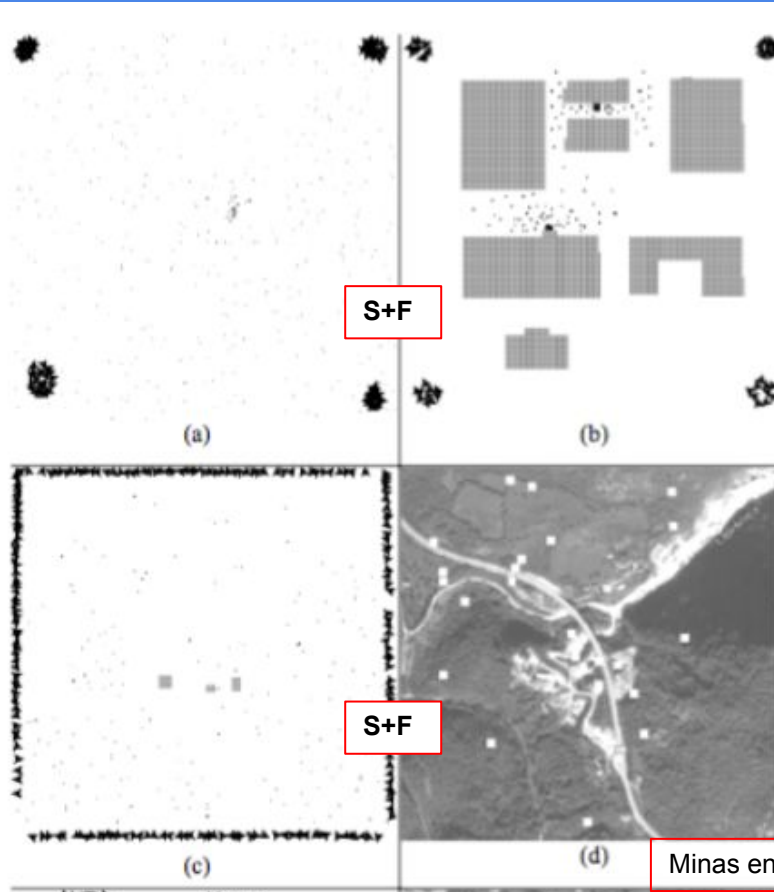


3 formaciones estigmetricas en tres diferentes objetivos. En la parte inferior derecha se puede observar que una formacion estigmergetica atrajo a un enjambre de drones



Fig. 4. Algunas capturas del escenario: Field: (a) estado inicial, (b) flocks (agrupacion), (c) tres formaciones estigmetricas

Estudios Experimentales



Este resultado podría atribuirse al hecho de que el mapa Minas urbana tiene un muy complejo diseño de obstáculos, que hace que la navegación agrupada difícil y difícil la estrategia de coordinación. Vale la pena señalar que todos los escenarios se han procesado mediante el uso de un propósito de parametrización general.

Fig. 5. Modelos de 2 sintéticos y 2 escenarios reales: (a) Bosque, (b) Urbano, (c-d) Minas Rurales, (e-f) Minas Urbanas

Minas en zonas cercanas a Sarajevo, en Bosnia-Herzegovina.

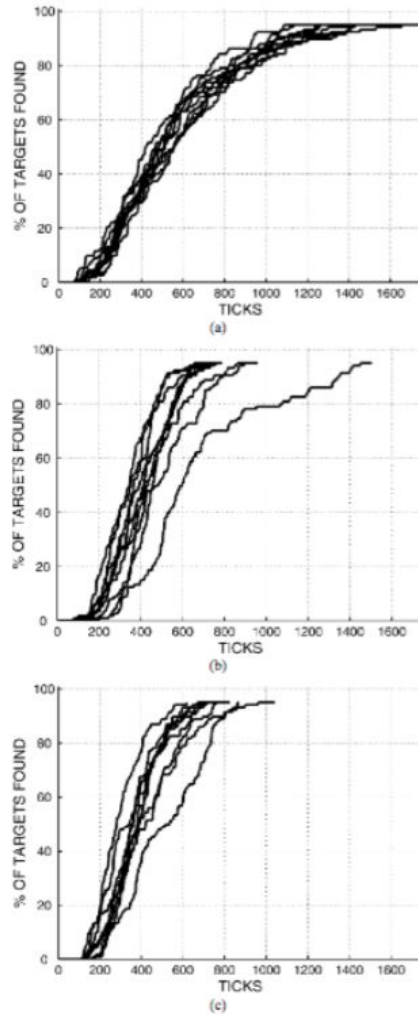


Fig. 6. Tasa de completacion en funcion del tiempo para el escenario Urbano:
(a) Vuelo random, (b) Estigmetria, (c) Estigmetria + Agrupacion (flocking)

Conclusiones y Trabajos Futuros

Conclusiones y Trabajos Futuros

- ❑ En este paper, presentamos una nueva estrategia de enjambre, basada en estigmergia y comportamiento de agrupación (flocking behaviors).
- ❑ El enfoque utiliza estigmergia para atraer drones en las áreas con objetivos potenciales y emplea agrupación (flocking) para organizar drones en enjambres.
- ❑ Los resultados simulados en escenarios sintéticos y reales han demostrado los beneficios de estigmergia y agrupación (flocking).

Conclusiones y Trabajos Futuros

- ❑ El mecanismo general se puede mejorar si los parámetros estructurales están sintonizados correctamente para el escenario dado.
- ❑ La determinación de estos parámetros correctos no es una tarea sencilla ya que las diferentes áreas tienen diferentes características.
- ❑ Por lo tanto, una afinación apropiada para adaptar los parámetros al área de búsqueda específica es deseable para hacer la búsqueda más eficaz.
- ❑ Con este fin, utilizar una estrategia de optimización de parámetros se considera una actividad de investigación clave para los futuros trabajos.

Referencias

Referencias

- [1] K. Whitehead, C.H. Hugenholtz, S. Myshak, O. Brown, A. LeClair, A. Tamminga, T.E. Barchyn, B. Moorman, B. Eaton, "Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications", *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol. 02(03), pp. 86-102, 2014.
- [2] R. McCune, R. Purta, M. Dobski, A. Jaworski, G. Madey, Y. Wei, A. Madey & M.B. Blake, "Investigations of DDDAS for command and control of uav swarms with agent-based modeling", *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World*, IEEE Press, pp. 1467-1478, 2013.
- [3] M. Brambilla, E. Ferrante, M. Birattari e M. Dorigo, "Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective," *Swarm Intelligence*, vol. 7, pp. 1-41, 2013.
- [4] J. A. Sauter, R. Matthews, H. Van Dyke Parunak & S. A. Brueckner, "Performance of digital pheromones for swarming vehicle control," in *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, ACM, pp. 903-910, 2005.
- [5] H. Van Dyke Parunak, M. Purcell & R. O'Connell, «Digital pheromones for autonomous coordination of swarming UAV's," in *AIAA's 1st Technical Conference and Workshop on Unmanned Aerospace Vehicles*, Ann Arbor, 1001, pp. 48105-1579, 2002.
- [6] G. Ermacora, A. Toma, B. Bona, M. Chiaberge, M. Silvagni, "A cloud robotics architecture for an emergency management and monitoring service in a smart city environment," in: *2013 IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robots and Systems*, Tokyo (Japan), November 3-8, 2013.
- [7] C. W. Reynolds, "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model," in *ACM Siggraph Computer Graphics*, 1987.
- [8] C. Bernon, M.P. Gleizes, & G. Picard, "Enhancing self-organising emergent systems design with simulation," *Engineering Societies in the Agents World VII*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 284-299, 2007.
- [9] T. Kuyucu, I. Tanev & K. Shimohara, "Superadditive effect of multi-robot coordination in the exploration of unknown environments via stigmergy," *Neurocomputing*, vol. 148, pp. 83-90, 2015.
- [10] P. Dasgupta, "A multiagent swarming system for distributed automatic target recognition using unmanned aerial vehicles," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, Vol. 38, no. 3, pp.549-563, 2008.
- [11] Y. Tan & Z. Zhong-Yang, "Research advance in swarm robotics," *Defence Technology* 9.1, 18-39, 2013.
- [12] J. Rodriguez, C. Castiblanco, I. Mondragon e J. Colorado, "Low-cost quadrotor applied for visual detection of landmine-like objects," in *ICUAS - International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, Orlando, FL, USA, 2014.

Referencias

- [6] G. Ermacora, A. Toma, B. Bona, M. Chiaberge, M. Silvagni, "A cloud robotics architecture for an emergency management and monitoring service in a smart city environment," in: 2013 IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robots and Systems, Tokyo (Japan), November 3-8, 2013.
- [7] C. W. Reynolds, "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model," in ACM Siggraph Computer Graphics, 1987.
- [8] C. Bernon, M.P. Gleizes, & G. Picard, "Enhancing self-organising emergent systems design with simulation," Engineering Societies in the Agents World VII. Springer Berlin Heidelberg, pp. 284-299, 2007.
- [9] T. Kuyucu, I. Tanev & K. Shimohara, "Superadditive effect of multi-robot coordination in the exploration of unknown environments via stigmergy," Neurocomputing, vol. 148, pp. 83-90, 2015.
- [10] P. Dasgupta, "A multiagent swarming system for distributed automatic target recognition using unmanned aerial vehicles," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, Vol. 38, no. 3, pp.549-563, 2008.
- [11] Y. Tan & Z. Zhong-Yang, "Research advance in swarm robotics," Defence Technology 9.1, 18-39, 2013.
- [12] J. Rodriguez, C. Castiblanco, I. Mondragon e J. Colorado, "Low-cost quadrotor applied for visual detection of landmine-like objects," in ICUAS - International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Orlando, FL, USA, 2014.