

MONOGRAFIA

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

Julio Jesus Ticona Quispe • julio.ticona@ucsp.edu.pe

Jesus Erick Vera Callme • jesus.vera@ucsp.edu.pe

CONTENTS

| | | |
|------------|--|---|
| I | Introduccion | 1 |
| II | Trabajos Relacionados | 2 |
| III | Diseño de entornos dinamicos y comportamiento de Drone | 2 |
| III-A | La estructura del entorno y la dinamica de feromonas | 2 |
| III-B | El comportamiento del dron | 2 |
| IV | Estudios Experimentales | 3 |
| V | Conclusiones y Trabajos Futuros | 4 |
| | References | 4 |

I. INTRODUCCION

Debido a la creciente resistencia, la seguridad y la no-invasividad, pequeños drones estan empezando a ser utiles en actividades de diversos ambitos. Su limitado poder de calculo sirve como recurso a la hora de implementar algoritmos que simulan un enjambre y su comportamiento. El paper se enfoca en aspectos necesarios para la coordinacion de drones a la hora de realizar la busqueda de objetivos. Se muestra como ese objetivo puede alcanzarse mejor mediante la combinacion de estigmergia y comportamientos de agrupamiento. En el paper se presenta un novedoso y totalmente descentralizado modelo para la busqueda de objetivos, y experimentamos de manera empirica usando una plataforma de simulacion multiagente.

Los recientes avances en la tecnología de detección fomentan el uso de drones para la inteligencia militar, reconocimiento, vigilancia, monitoreo de tráfico, localización de incendios forestales, estudios científicos en condiciones peligrosas, en la frontera y el puerto de patrullaje, búsqueda y rescate, el seguimiento de la vida silvestre, etc. De hecho, los drones pueden ser equipados con capacidades de auto-localización y detección, que se utilizará para las tareas de recopilación de información, como la búsqueda de destino o detección del medio ambiente. Los drones ofrecen más potencial, ya que puede realizar tareas en entornos altamente inhóspitos.

Para resolver los problemas de forma cooperativa, manteniendo la escalabilidad, los diseñadores de aplicaciones están investigando metodologías inteligentes enjambre. La principal fuente de inspiración para los drones en enjambre proviene de la observación de los animales sociales, como las hormigas, abejas, aves y peces, que presenta una especie de inteligencia colectiva que parece alcanzar la meta compleja a través de reglas simples.

Los principales beneficios de usar tecnología enjambre en drones son:

- La robustez, la capacidad de hacer frente a la pérdida de los individuos.
- La escalabilidad, debido a la capacidad para llevar a cabo bien tareas con diferente tamaño de grupo de individuos.
- La flexibilidad, gracias a la capacidad de hacer frente a un amplio espectro de diferentes entornos y tareas.

Con este fin, cada dron del enjambre:

- Actúa con un cierto nivel de autonomía.
- Realiza sólo detección local y la comunicación.
- Operar sin control centralizado o conocimiento global.
- Cooperar para lograr una tarea global.

Desde un punto de vista estructural, suponemos que cada dron está dotado de los siguientes equipos:

- Capacidad de comunicación inalámbrica para enviar y recibir información de la estación de tierra.
- La capacidad de auto-ubicación, por ejemplo, basado en el sistema de posicionamiento global.
- Uno o más tecnología de detección de objetivo, capaz de capturar muestras en el área sobre la que vuela.
- Procesador con capacidad de computación limitada.
- La capacidad de poder evadir obstáculos, es decir, la detección y la dirección para evitar que vuele hacia las barreras y hacia los drones.

Un mecanismo fundamental para la coordinación enjambre es el uso de un marcador basado en estigmergia. Con estigmergia, los individuos dejan información en el entorno en forma de feromonas, sustancias volátiles difundidos a nivel local y sirven para que otros drones las encuentren temporalmente y que reaccionen y cambien su funcionamiento. Cuando el sistema de detección de dron determina un objetivo potencial, se ha de permitir la cooperación de su enjambre.

En caso de encontrar un objetivos potencial el drone libera una cantidad particular de feromona con la ubicación de el objetivo seteada, cuya señal actúa como un atractivo potencial de difusion de drones vecinos. Las dimensiones estructurales de la feromona deben tener en cuenta la tamaño medio de un enjambre. De lo contrario, una feromona altamente difusa o mal evaporada podría atraer recursos desproporcionados en un solo objetivo, lo que interfiere con el desarrollo progresivo del comportamiento emergente. Por el contrario, una feromona mal difusa o altamente evaporada no podra ser detectado en absoluto. Comportamiento de agrupacion es una estrategia que permite la auto-organización de drones en un número de enjambres. Comportamiento de agrupacion es un efecto emergente de reglas individuales como la alineación, la separación y la cohesión. De hecho, con la alineación de los drones, un dron tiende a moverse en la misma dirección que los drones cercanas. Con reglas de separación, el drone mantiene una distancia mínima, capaz de proporcionar al drone una flexibilidad cuando se mueve en el enjambre, y para una mejor exploración, por último, con la cohesión el drone tiende a moverse hacia el enjambre.

En nuestro enfoque, estigmergia y comportamiento de agrupacion son dos patrones de comportamiento emergentes que deberían trabajar en conjunto con otros patrones de comportamiento básicas del drone, como la evitacion de obstáculos y límites.

El proceso de diseño de una estrategia de combinación es de abajo hacia arriba y consiste en encontrar el ajuste en el nivel micro (a nivel de agente) con el fin de obtener un comportamiento emergente coherente a nivel macro (nivel enjambre o incluso nivel del sistema global de la derecha).

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Los trabajos publicados en el campo se pueden distinguir en tres categorías:

- Uso de una sustancia fisica, tal como una feromona, que se transmite necesariamente de una manera indirecta entre robots, por medio del medio físico.
- Uso de una feromona digital, transmitida a través de la comunicación directa entre robots.
- Uso de una feromona digital, transmitida a través de una comunicación indirecta entre robots.

Esta última es la categoría de nuestro enfoque.

III. DISEÑO DE ENTORNOS DINAMICOS Y COMPORTAMIENTO DE DRONE

En esta sección se explica la estructura lógica de tanto el entorno como los drones, así como su configuración paramétrica.

A. La estructura del entorno y la dinamica de feromonas

Sin pérdida de generalidad, suponemos que el entorno está limitado a un área específica. Superponemos a esta zona una rejilla consistente de C^2 celdas, cada una identificada por un par (x, y) de coordenadas, con $x, y \in [1, \dots, C]$. El actual tamaño del area y el numero de cuadrados dependen de un especifico dominio de aplicacion. La Fig. 1 muestra algunos

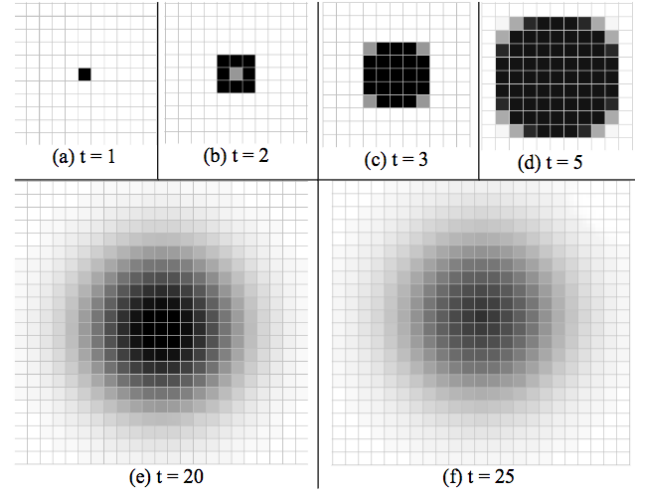


Fig. 1. Escenario basico de feromonas dinamicas: (a) liberacion, (b) difusion principal, (c-d) difusion y evaporacion, (e-f) evaporacion principal.

escenarios basico del proceso de marcado. Los niveles de intensidad de feromonas estan representados por diferentes gradaciones de grises: la mas oscura es la mas alta en intensidad

Mas especificamente si vemos Fig 1: (a) una sola intensidad I de feromona que se libera, (b) en el primer paso, la feromona se difunde principalmente (en movimiento) a las celdas cercanas con una constante de difusion de velocidad de $\delta \in [0, 1]$; (c-d) la feromona se difunde y evapora, por evaporacion, feromona disminuye su intensidad con el tiempo, se rige por la constante de velocidad $\epsilon \in [0, 1]$; (e-f) la feromona es principalmente evaporada. Mas formalmente la intensidad p de feromonas liberado en el instante t en la celda (x, y) es entonces caracterizada por la siguiente formula:

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

donde $(1 - \delta) \cdot p_{x,y}(t - 1)$ representa la cantidad restante despues de la difusion a las celdas cercanas, $\Delta p_{x,y}(t - 1, t)$ los despositos adicionales hechos en el intervalo $(t - 1, t)$, y $d_{x,y}(t - 1, t)$ la feromona de entrada difundida desde todas las cercanas celdas. Este ultimo puede ser calculado formalmente como:

$$d_{x,y}(t - 1, t) = \frac{\delta}{8} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 p_{x+i,y+j}(t - 1) \quad (2)$$

desde que cada de los 8 celdas vecinas propaga la porcion δ de su feromona a la celda (x, y) en cada ciclo de actualizacion. El monto total de (1) se multiplicado por ϵ para tener en cuenta la evaporacion.

B. El comportamiento del drone

Básicamente, en cada ciclo de actualización (en lo sucesivo denominada señal), el comportamiento del drone se estructura

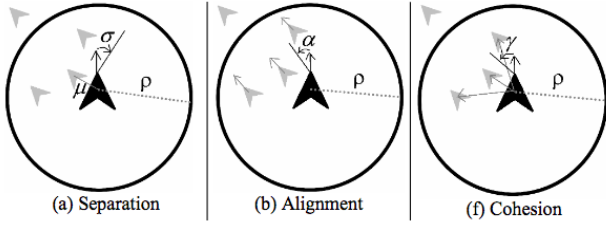


Fig. 2. Vision del radio de agrupacion y otros parametros en comportamiento de agrupamiento

en una lógica de tres capas, donde cada capa implementa un comportamiento básico:

- Vuelo aleatorio (exploracion) es el comportamiento correspondiente a la capa más baja de prioridad.
- Mientras que la feromona basada en coordinación (explotación) es la capa media
- Evacion de los objetos/límites y la liberacion de feromonas implican un arquitectura de mayor prioridad

Más precisamente, cada unidad de período del drone realiza en paralelo: (a) la detección de blancos, en cuyo caso se libera feromonas; (b) los objetos y de detección de límite. Si se detecta un objeto cercano (es decir, obstáculo o drone), los puntos de drone siguen hacia una dirección libre. Si se encuentra una dirección libre, se mueve hacia adelante. De lo contrario, si no hay objetos cercanos detectados, los drone 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). Con otras palabras, 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 cercanos, realizan un giro al azar y siguen adelante.

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

Fig. 2 muestra diversos comportamiento cuando sucede la separacion, el alineamiento y la cohesion.

Por medio de un comportamiento reactivo, un drone es capaz de detectar y evitar los obstáculos cercanos, drones, y límites (objetos) a la distancia o (distancia de detección de objetos) en su trayectoria.

Si un objeto se encuentra en su trayectoria de colisión, el drone encuentra una trayectoria libre o deja de moverse. Se elige al azar a girar a la izquierda o hacia la derecha para evitar el obstáculo. A continuación, gira en un grado por uno y comprueba la nueva trayectoria. Si el drone encuentra una trayectoria libre, antes girar en 180 grados su movimiento, si no se detiene por una señal. Vale la pena señalar que un drone vuela a 1 metro de altura desde el suelo, y luego consideramos edificios y árboles como obstáculos para ser modelados.

IV. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

El modelo propuesto se ha implementado en "NetLogo", una plataforma para la simulación de la inteligencia de enjambre.

TABLE I. RESULTADOS NUMERICOS

| Scenario | N° of targets / clusters | Type / n° of obstacles | Drones | Completion time (ticks) | |
|-------------|--------------------------|---------------------------|--------|-------------------------|------------|
| 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 |

Para evaluar la eficacia del enfoque propuesto, hemos evaluado el rendimiento de el modelo de los tres comportamientos básicos: vuelo aleatorio ("R de random"), el comportamiento estigmergético ("S de stigmergia"), el comportamiento estigmergético y de agrupacion (flocking) ("S + F").

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.

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

El escenario sintético llamado "Field" consta de 5 objetivos esparcidos por la zona, con cerca de 10 objetivos por grupo. No hay obstáculos. Fig. 3a representa la configuración inicial: 80 drones en total dispuestos en 4 enjambres están representados por las formas triangulares, y se sitúan en las antipodas de la zona, mientras que los objetivos están representados por grupo de puntos. Fig. 3b muestra la disposición espacial de los enjambres con forma y tamaño diferente. Finalmente Fig. 3c representa 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. Los resultados de la Tabla I confirman que la combinación de estigmergia y comportamientos de agrupacion aceleran el proceso de búsqueda de objetivos en el escenario Field.

El escenario Forest (bosque) (Fig. 4a) representa una reconstrucción sintética de objetivos de difusión en un soporte de madera.

Las Minas del Campo (Fig. 4c-d) y Minas Urbana (Fig. 4e-f) se derivan de escenarios real y ejemplos del mundo de las zonas cercanas a Sarajevo, en Bosnia-Herzegovina, con objetos de minas terrestres,

En el escenario de Minas rurales, se confirma el efecto positivo de estigmergia y agrupamiento (flocking). Por lo tanto, se puede observar en la Tabla I que adopte estigmergia y, a continuación, estigmergia con Flocking, mejora el rendimiento en todos los escenarios, excepto para el escenario de Minas urbanas, cuya tendencia es la contraria.

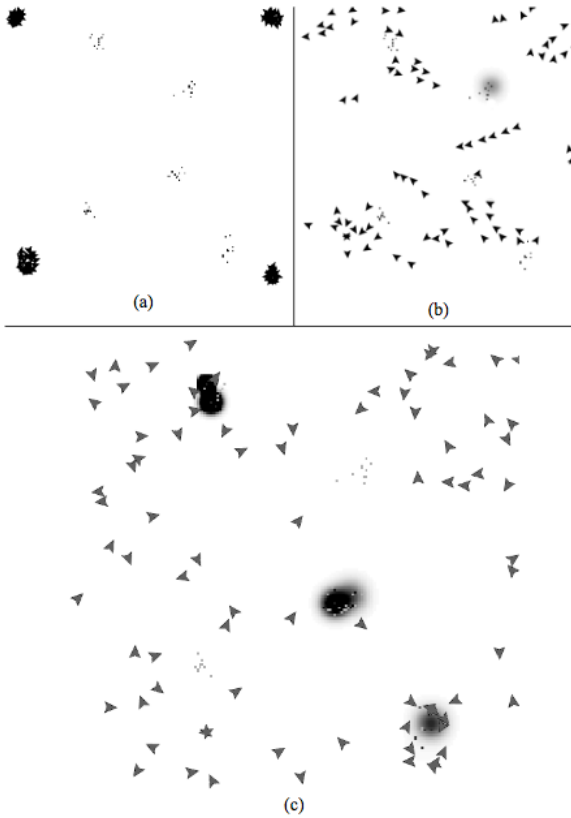


Fig. 3. Algunas capturas del escenario: Field: (a) estado inicial, (b) flocks (agrupacion), (c) tres formaciones estigmergicas

Para investigar mejor la dinámica de la búsqueda objetivo, Fig. 6a-c muestra la tasa de completación en función del tiempo, para el escenario urbano.

A continuación, se muestra la evolución de cada ensayo de un experimento. Es evidente que estigmergia introduce una mejora significativa sobre Random Fly (vuelo random), a partir de alrededor de un tercio de la cobertura objetivo, mientras que la combinación de estigmergia y agrupacion(flocking) supera estigmergia especialmente en términos de variabilidad entre los ensayos.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este paper, se presenta una nueva estrategia de enjambre, basada en estigmergia y comportamiento de agrupacion (flocking behaviors). El enfoque utiliza estigmergia para atraer drones en las áreas con objetivos potenciales y emplea agrupacion (flocking) para organizar drones en enjambres. Los resultados simulados en escenarios sintéticos y reales han demostrado los beneficios de estigmergia y agrupacion(flocking). El mecanismo general se puede activar mejor 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 a la area de búsqueda específica

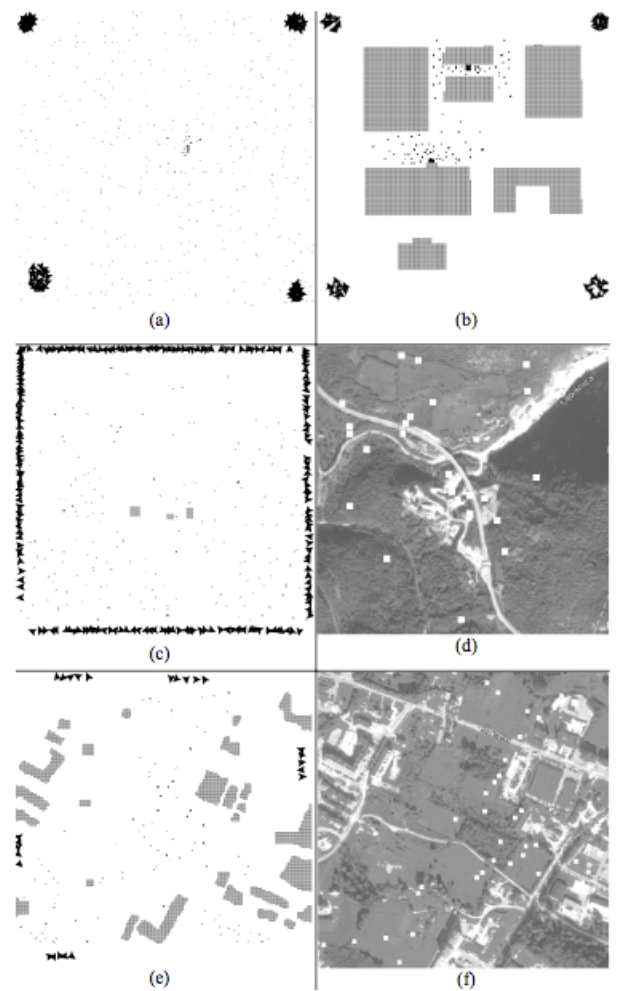


Fig. 4. Modelos de 2 sinteticos y 2 escenarios reales: (a) Bosque, (b) Urbano, (c-d) Minas Rurales, (e-f) Minas Urbanas

es deseable hacer que la búsqueda sea más eficaz. Con este fin, utilizar una estrategia de optimización de parámetros se considera una actividad de investigación clave para los futuros trabajos. [1]

REFERENCES

- [1] A. L. G. V. Mario G. C. A., Cimino. Combining stigmergic and flocking behaviors to coordinate swarms of drones performing target search, [Online] Disponible en: http://www.iet.unipi.it/m.cimino/publications/cimino_pub39.pdf.