



Monitorización automática de aeronaves de extinción de incendios forestais

por Manuel Antonio Novo, Manuel Vaamonde, Marta Rodríguez e María José Ginzo

Manuel Novo, Manuel Vaamonde e Marta son graduados en Matemáticas pola USC. Marta é, actualmente, investigadora contratada no Instituto Tecnolóxico de Matemática Industrial (ITMATI). Manuel Novo e Manuel Vaamonde tamén eran investigadores de ITMATI no momento no que se desenvolveu o algoritmo que aquí se presenta, actualmente son investigadores contratados na UDC. María José é licenciada en Matemáticas coa especialidade en Estatística e Investigación Operativa na USC. É investigadora contratada na USC e colaboradora de ITMATI.

Manuel Novo, Manuel Vaamonde e María José son egresados do Máster interuniversitario en Técnicas Estatísticas.

Marta é egresada do Máster universitario en Estatística e Investigación Operativa da UPC.

O proxecto Civil UAVs Initiative

O proxecto Civil UAVs Initiative (CUI) é unha iniciativa da Xunta de Galicia que ten como obxectivo crear solucións e produtos innovadores no ámbito da industria de sistemas e vehículos non tripulados.

No marco deste proxecto, a Xunta de Galicia colabora con empresas privadas no desenvolvemento do sector aeroespacial. No ano 2020 estaban en marcha máis de 20 proxectos en colaboración con tres empresas do sector, Indra, Babcock e Boeing. Concretamente, con Babcock desenvolvéronse 17 proxectos de I+D, entre os que se atopa un sistema experto de monitorización de incendios forestais e de control de tráfico aéreo.

ITMATI colabora con Babcock no marco da CUI, desenvolvendo algoritmos orientados a mellorar a xestión das aeronaves de extinción de incendios. Son moitos os algoritmos desenvolvidos a raíz desta colaboración, entre os que se poden destacar o **Algoritmo de detección de incendios**, que permite crear unha base de datos dos incendios ocorridos a partir das descargas de auga das aeronaves; o **Algoritmo de cálculo de isócronas do perímetro**, que permite calcular o perímetro do incendio en diferentes instantes temporais, e calcular tamén os vectores de desprazamento do mesmo, a partir dos datos rexistrados das descargas de auga das aeronaves, como no caso do algoritmo anterior; ou o **Planificador de medios aéreos**, que fai unha planificación óptima das aeronaves que participarán nun incendio seguindo as preferencias do coordinador. Outro dos algoritmos desenvolvidos é o **Algoritmo de detección automática de norias**, que permite rexistrar as norias¹ que seguen as aeronaves na súa participación na extinción do incendio. Este é o algoritmo que se presenta nesta publicación.

Monitorización das aeronaves

Un dos puntos importantes na loita contra os incendios forestais é a xestión dos recursos que actúan na súa extinción. Coa chegada da internet das cousas (IOT polas súas siglas en inglés) é posible ter datos en tempo real dos medios que participan na loita contra os incendios o que permite saber, entre outras cousas, a súa localización exacta durante toda a actuación. No caso das aeronaves, ademais da localización, é posible coñecer a súa velocidade, a dirección que levan, e incluso se están voando ou descargando auga nese instante.

A análise dos datos rexistrados das aeronaves durante o traballo de extinción permite acadar un mellor entendemento da evolución do incendio e das decisións tomadas durante a actuación. Isto permite estudar a táctica seguida e mellorar as tarefas de coordinación para futuros traballos de extinción. Neste traballo preséntase un algoritmo destinado a obter os circuitos teóricos (norias) que seguiron as aeronaves a partir do procesamento das súas posicións rexistradas, e tamén as zonas nas que cargaron e descargaron auga.

Cando traballan para extinguir un incendio, as aeronaves realizan circuitos pechados que adoitan ter forma elíptica. Estes circuitos, denominados norias, defínense a partir dos puntos nos que a aeronave carga e descarga auga. É dicir, unha *noria* é o percorrido elíptico carga-descarga-carga de auga que realiza unha aeronave. Estas norias cambian varias veces durante os traballos de extinción, xa que se deben adaptar ao avance do incendio. As aeronaves pódense clasificar, de acordo co seu peso, en lixeiras, medias e pesadas. Os distintos tipos de aeronaves forman norias distintas. Isto débese a, entre outras cousas, que a velocidade varía entre os distintos tipos de aeronaves, e tamén polo tipo de manobras que poden facer. Debido a isto, nun incendio haberá en cada instante como mínimo tantas norias como tipos de aeronaves estean traballando. Ademais, que dúas aeronaves sexan do mesmo tipo, non quere dicir que necesariamente estean compartindo a mesma noria, polo que o número de norias que actúan nun mesmo instante no incendio non se pode determinar *a priori*.

Algoritmo de detección de norias

Debido ao xeito no que se crean, as norias dun incendio non quedan rexistradas e polo tanto non se poden analizar unha vez rematado o incendio. O propósito deste algoritmo é identificar as diferentes norias activas durante un incendio resaltando as zonas de carga e descarga de auga, e as aeronaves que seguen cada noria. Porén, detectar as norias dun incendio non é tan sinxelo como unir as posicións rexistradas das aeronaves, senón que é necesario crear unha curva pechada, ligada a unha zona de carga e outra de descarga de auga, e asociada

¹Circuitos pechados que realizan as aeronaves durante o seu traballo no incendio entre o punto de carga e o de descarga de auga.

ás aeronaves correspondentes.

Os datos dos que se dispón para a obtención das norias son as posicións das aeronaves que se rexistran habitualmente cada 30 segundos, aínda que en ocasións este tempo pode ser maior. Cada unha destas posicións incorpora máis información que as coordenadas, como a velocidade, a matrícula da aeronave, a marca temporal ou o rexistro das descargas de auga. Porén, as aeronaves rexistran como descargas todos os eventos nos que abren o depósito de auga (bambi), o que ás veces sucede por outros motivos polo que ten que terse en conta que pode haber datos atípicos entre os rexistrados como as descargas.

Para poder detectar os cambios de noria que se producen durante a actuación no incendio é necesario non ter en conta os datos de toda a actuación de extinción, xa que pode ser que se estean comparando traxectorias nas que a aeronave seguiu norias distintas o que empeoraría os resultados. Para afrontar isto, a solución proposta consiste en utilizar os datos de voo en períodos de tempo de, por exemplo, 30 minutos. Deste xeito obtense unha noria para cada intervalo de tempo o que permite identificar os cambios de noria en caso de habelos. A duración destes períodos é un dato de entrada do algoritmo e pode ser modificado polo usuario, xa que, dependendo da duración e da magnitude do incendio, poden precisarse períodos de maior ou menor duración. Para calcular as norias de cada un dos períodos, a metodoloxía empregada é a seguinte:

1. **Detección das posicións de carga de auga de cada aeronave.** Para isto aplícase o algoritmo de clasificación non supervisada *Density-based spatial clustering of applications with noise* (DBSCAN) que permite agrupar puntos próximos identificándolos como membros dunha mesma clase. Este algoritmo aplícase sobre as posicións de cada aeronave utilizando como variables as coordenadas, a velocidade e a altitude sobre o nivel do mar. O DBSCAN necesita dous parámetros de entrada: *minPts*, que indica o número mínimo de puntos que deben estar nunha veciñanza para considerar un grupo; e *eps*, que especifica a que distancia dous puntos se poden considerar veciños. Os pasos para aplicar este algoritmo son os seguintes:
 - Elimínanse as posicións rexistradas como descarga de auga.
 - Aplícase o algoritmo cos parámetros *eps* = 0,3 e *minPts* = 3 utilizando as variables mencionadas previamente estandarizadas para que estean na mesma escala.
 - Os puntos clasificados como “carga” cunha velocidade superior a 10 m/s clasifícanse como “non carga”, xa que se consideran ruído.
 - Aplícase un filtro por cercanía ás zonas de descarga xa que se sabe que as zonas de carga están no lado oposto da noria ás zonas de

descarga, así que se eliminan os puntos catalogados como “carga” que están preto dunha zona de descarga.

- Se o algoritmo DBSCAN clasificou os puntos en dous grupos, un corresponde ás zonas de carga e o outro ao resto de posicións. En caso de que exista un único grupo, quere dicir que ningunha posición foi detectada como zona de carga, polo que se volve aplicar o DBSCAN modificando o parámetro *eps* = 0,5. En caso de que así tampouco se detecte máis dun grupo, asígnanse como zonas de carga aquelas posicións que non son de descarga e teñan unha velocidade inferior a 5 m/s. En caso de que o DBSCAN devolva máis de 2 grupos, vólvese aplicar o algoritmo, esta vez só nas posicións que foron catalogadas como carga, utilizando unicamente as coordenadas e cun parámetro *eps* = 0,1. Isto permite que en moitas ocasións dous grupos, que se consideraban diferentes, se unifiquen.
- Aplícase un filtro que elimine os grupos que se deben a paradas illadas das aeronaves.

Así conséguese ter todos os puntos de carga de auga caracterizados, o que é necesario para o seguinte paso do algoritmo.

2. Identificación e suavización das traxectorias.

A identificación das traxectorias levouse a cabo a partir das zonas de carga seguindo os seguintes pasos:

- Identifícanse como puntos de carga as posicións a unha distancia fixa das posicións obtidas no paso 1 (habitualmente, 100 m). Isto é necesario xa que non sempre se identifican todas as cargas, polo que se poderían perder algunhas traxectorias. No caso de escoller múltiples posicións consecutivas, só se considerará unha delas como carga.
- Defínese cada traxectoria como as posicións realizadas polas aeronaves entre as distintas cargas obtidas no punto anterior, que pertencen á mesma zona de carga.
- Descártanse as traxectorias que pasan por varias zonas de carga e que non realizan exactamente unha descarga, posto que se identifican con cambios de noria temporal no caso de ter máis dunha descarga, e cunha carga mal identificada no caso de non ter descargas. No caso de que dúas traxectorias teñan polo menos unha posición en común, descártase unha delas, xa que se consideran a mesma.

Unha vez que as traxectorias están identificadas, hai que aplicar un filtro para eliminar aquelas que non teñen suficientes posicións rexistradas (elimínanse todas as traxectorias con menos de 6 pun-

tos) e tamén aquelas que non forman unha volta completa (por exemplo, porque a aeronave volve á base despois de realizar a descarga).

O seguinte paso é transformar os puntos illados que forman parte das traxectorias en representacións continuas dos voos. O procedemento seguido é o seguinte:

- Para cada traxectoria duplícase o punto inicial para que coincida tamén co punto final da mesma. Deste xeito obtéñense circuitos pechados que, pola natureza dos datos, poderían non existir xa que as aeronaves non pasan exactamente polos mesmos puntos e ademais as posicións rexístranse cada certo tempo.
- Utilízanse B-Splines periódicos para suavizar a curva.

Desta forma xa se teñen as traxectorias das aeronaves representadas como curvas pechadas necesarias para o seguinte paso do algoritmo.

3. **Estimación de norias.** Este é o último paso do algoritmo. Hai que estimar as norias activas e asignar as aeronaves que participan en cada unha delas. Os pasos levados a cabo son os seguintes:

- Elimínanse as traxectorias que se desvían das demais por causas puntuais. Para cada grupo de 6 ou máis traxectorias efectúase unha detección de atípicos para eliminar as traxectorias non representativas.
- Compáranse as traxectorias de cada aeronave asociada a un punto de carga de dúas en dúas para identificar se ambas pertencen á mesma noria. Deste xeito obtéñense todas as traxectorias que pertencen a unha mesma noria.
- Con todas as traxectorias que pertencen a unha mesma noria, escóllese a traxectoria máis representativa utilizando a profundidade modal. Esta traxectoria será a noria activa para esas aeronaves e punto de carga.
- En caso de que un grupo de traxectorias estea formado por menos de 6 voltas, engádense 15 minutos máis ao período estipulado para obter máis datos de voo, ata chegar a un máximo de 2 horas. En caso de chegar ao máximo sen atopar 6 ou máis traxectorias, descártase a obtención de noria para ese grupo.

Unha vez que se obteñen todas as norias activas coas aeronaves asignadas, asóciase as zonas de carga e descarga.

Saída do algoritmo

A saída do algoritmo son obxectos tipo liña en formato ESRI SHAPEFILE representando as norias activas no incendio para o período de tempo no que se executou o algoritmo. Estes obxectos conteñen información das

matrículas das aeronaves que seguen a noria, o tipo de aeronaves que son (lixeiras, medias ou pesadas), a lonxitude da noria, os tempos de inicio e fin considerados para axustala e a capacidade máxima potencial da noria en litros (calculada a partir das capacidades das aeronaves que seguen a noria).

Tamén se obteñen obxectos tipo polígono en formato ESRI SHAPEFILE representando as zonas de carga e descarga, que se calculan a partir das posicións detectadas como carga e descarga de auga. Calcúlase a elipse de mínima área que engloba todas as posicións e engádense “un búfer” para resaltar esta zona.

Ademais o algoritmo tamén proporciona todas as traxectorias suavizadas como obxectos tipo liña en formato ESRI SHAPEFILE e o conxunto de posicións a partir das cales foron calculadas.

A continuación móstranse as saídas do algoritmo para un incendio ocorrido o 29/06/2020 en Santiago de Compostela. O incendio iniciouse a última hora da tarde nunha zona próxima ao Complexo Hospitalario Universitario de Santiago. O algoritmo executouse usando os datos dunha única aeronave entre as 18:15 e as 18:45 horas, nun período de 30 minutos. Na Figura 1 poden verse as posicións que se teñen rexistradas do voo da aeronave para ese período de tempo e as traxectorias calculadas a partir desas posicións.

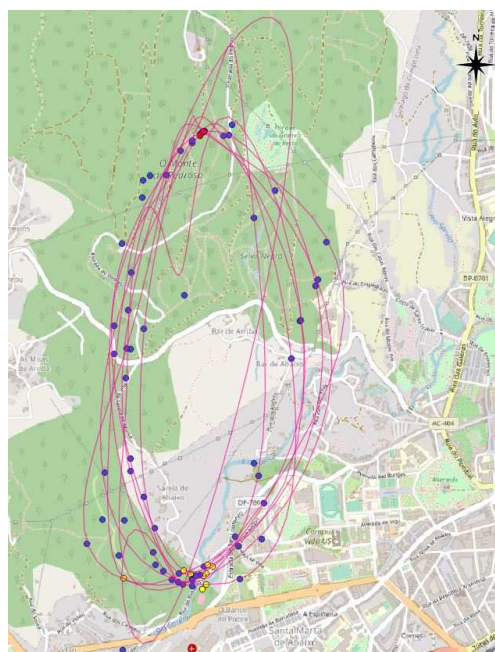


Figura 1: Posicións rexistradas e traxectorias calculadas da aeronave para o incendio de Santiago de Compostela.

Na Figura 1 poden verse sinaladas en cor amarela as posicións correspondentes coas descargas de auga. Na zona norte, en vermello, poden verse as posicións que se identificaron como zonas de carga de auga, que é o primeiro paso do algoritmo.

Pódense observar tamén as traxectorias obtidas, representadas en cor rosa, que se acercan ao que se pode esperar do voo dunha aeronave. Porén, vense algúns xiros que poden parecer raros, como a curva pechada que aparece na zona norte das traxectorias. Isto pode deberse a diferentes casuísticas, e ten que ver co proceso de suavizado das traxectorias, pero, ao ser un caso illado, non afecta á obtención da noria final, como se pode ver na Figura 2.

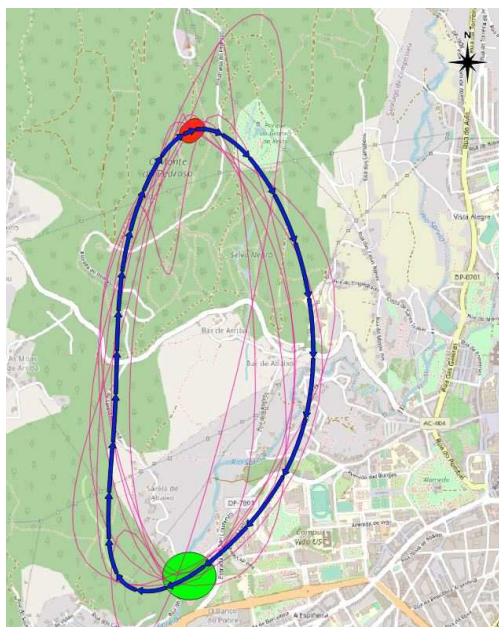


Figura 2: Noria, zonas de carga e descarga e traxectorias calculadas para o incendio de Santiago de Compostela.

Na Figura 2 poden verse as traxectorias da aeronave e a noria calculada a partir delas, representada en frechas azuis que sinalan o sentido de voo. Neste caso, como só se teñen os datos dunha aeronave, esta será a única asignada á noria. Pode verse que a noria ten forma practicamente elíptica e que as traxectorias atípicas non inflúen na súa obtención. Na zona norte da noria pode verse o obxecto tipo elipse, en cor vermella, que representa a zona de carga da noria. No lado oposto, en cor

verde, está a elipse que representa a zona de descarga da noria.

Esta imaxe permite, dunha soa ollada, ter unha idea do percorrido da aeronave, onde cargaba e en que lugar se atopa o incendio, representado pola zona de descarga. Na Figura 2 pode apreciarse que a zona de carga das aeronaves non corresponde con ningunha masa de auga coñecida, como un río ou mar. Isto débese a que existen unha serie de puntos de auga artificiais preparados para que os helicópteros carguen auga. Por motivos de seguridade, non está recomendado que os helicópteros carguen auga en encoros, ríos ou incluso no mar, xa que as correntes poden provocarlle problemas á aeronave. Debido a isto, hai unha serie de depósitos de auga espaxados por todo o territorio, preparados para a loita contra incendios. Por exemplo, en Galicia existen, segundo o PLADIGA 2020, 801 puntos de carga de auga. Na Figura 3, pode verse un destes depósitos, que é no que cargaron auga as aeronaves no exemplo do incendio que se amosou previamente.



Figura 3: Punto de carga de auga para helicópteros situado no Monte Pedroso, Santiago de Compostela.

Para o desenvolvemento deste algoritmo empregouse o *software* estatístico [R](#), e [QGIS](#).

Agradecementos

Os autores deste traballo agradecen o apoio do proxecto CIVIL UAVS INITIATIVE. Igualmente, a todo o persoal humano do mesmo e, de maneira especial, aos investigadores de ITMATI que colaboraron no mesmo.

Referencias

Satchidanandan Deguri, Chinmay Mohopatra, Ashish Ghosh and Rajib Mall, 2006. A Comparative Study of Clustering Algorithms, *Information Techonology Journal*, 5: 551-559.
Plan de Prevención y Defensa contra los Incendios Forestales de Galicia (PLADIGA), 2020, Xunta de Galicia, Consellería do Medio Rural.