

## **VEHÍCULOS AÉREOS AUTÓNOMOS**

**Luis Benigno Gutiérrez Zea**

*Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín), Instituto de Tecnología de Georgia  
(USA), gte915w@prism.gatech.edu*

Abstract: Ahora que la aviación esta cumpliendo sus 100 años es sorprendente el avance alcanzado en el área. Este avance ha sido propiciado por los desarrollos en muchas áreas como por ejemplo la aerodinámica, el diseño, los nuevos materiales, los sistemas de propulsión, los sistemas hidráulicos, los sensores, los actuadores y los sistemas de control. El desarrollo del área de control ha acompañado a la historia de la aviación y ha permitido el paso de aeronaves totalmente controladas por el piloto (piloto en el lazo de control) a sistemas de piloto automático que requieren solo de la intervención del piloto para tomar decisiones de alto nivel. Pero esto no para ahí, porque ahora la miniaturización y el aumento de la potencia computacional de bajo costo han permitido el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados y con cierto grado de autonomía. En este momento la carrera esta en el mejoramiento del grado de inteligencia y autonomía que estos vehículos puedan lograr. ¿Qué nuevas tecnologías en el área de control permitirán esto? Precisamente en esta conferencia se describirán brevemente algunos de los campos de investigación que tratan sobre este tema.

Keywords: : vehículos autónomos, UAV, control

## Vehículos Aéreos Autónomos

Luis Benigno Gutiérrez Zea\*  
V Congreso de la Asociación Colombiana de Automática  
Medellín, julio 17-19 de 2003

\* Estudiante de doctorado Georgia Institute of Technology  
Profesor Universidad Pontificia Bolivariana, miembro del grupo A+D

## Contenido

- Un breve recuento histórico
- Control en la historia de la aviación
- Vehículos aéreos no tripulados (UAV)
- Automático→Autónomo→Inteligente
- Aplicaciones de los UAVs
- Categorías de UAVs
- Algunos UAVs
- Nuevas tecnologías en el control de UAVs
- Conclusiones

2

## Un breve recuento histórico\*

- 1488-1514 - Leonardo de Vinci (Italia) hizo el primer diseño de máquinas voladoras



Dibujo de Leonardo de un ala

\* <http://aviation-history.com>, <http://www.flight100.org>, <http://www.centennialofflight.gov>

3

## Un breve recuento histórico

- 1483, primera idea de un helicóptero por Leonardo da Vinci



4

## Un breve recuento histórico

- George Cayley (1773-1857) – Inglaterra



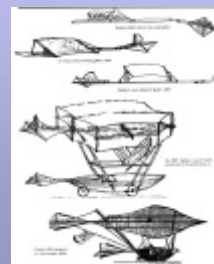
Diseño temprano de un helicóptero ("On Aerial Navigation," 1809)



"Carruaje aereo", 1843

5

## Un breve recuento histórico



Planeadores de George Cayley

6

## Un breve recuento histórico

- Gustave Ponton D'Amecourt
- Helicóptero, del adjetivo griego "elikoioas," (espiral) y el sustantivo "pteron," (pluma, ala)

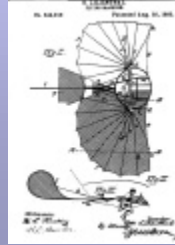
Tornillo aéreo a vapor, 1863



7

## Un breve recuento histórico

- 1896, Otto Lilienthal - Germany



Pilotando su planeador

8

## Un breve recuento histórico

- 1903, Samuel Pierpont Langley – USA



Aeródromo de Samuel Langley

9

## Un breve recuento histórico

- 1903, Orville y Wilbur Wright - USA

Primer vuelo controlado propulsado por motor de un vehículo mas pesado que el aire



10

## Un breve recuento histórico

- Glenn Curtiss



Aerial Experiment Association (AEA) Aerodrome No. 3, el June Bug, en vuelo con Glenn Curtiss en los controles, verano 1908

11

## Un breve recuento histórico

- Paul Cornu (Francia), 1907
- Hizo un helicóptero con dos rotores de 6 metros de diámetro, usando un motor Antoinette de 24-hp (18-kW). Se elevó con su inventor 1.5 metros por un minuto



12

## Un breve recuento histórico

- 1919, Primer vuelo transatlántico

El NC-4 fue el primer avión en cruzar el Atlántico (por etapas)



13

## Un breve recuento histórico

- Primer avión completamente de metal

Junkers J.L. 6  
construido en  
Alemania en  
1919 como el  
F13



14

## Un breve recuento histórico

- Juan de la Cierva, España (1895-1936)



Primer autogiro exitoso de Cierva,  
voló en España en 1923

15

## Un breve recuento histórico

- Primer vuelo transatlántico sin parar

Charles Lindbergh en  
el Spirit of St. Louis  
(Mayo 20, 1927)



16

## Un breve recuento histórico

- Innovaciones en los 1930s
  - Mejores instrumentos: altímetros, indicadores de velocidad del aire, indicadores de tasa de ascenso, brújulas, y la introducción del horizonte artificial
  - Comunicaciones por radio, primeras ayudas de vuelo (radio faros)
  - Primera torre de control (1930, Cleveland, Ohio)
  - Radar

17

## Un breve recuento histórico

- Primeros aviones de pasajeros modernos

Boeing Modelo  
247, desarrollado  
en 1933



18

## Un breve recuento histórico

- El DC-2 (1934) y el DC-3 (1935)



19

## Un breve recuento histórico

- Cabinas presurizadas

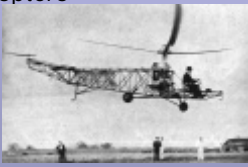
Boeing 307  
Stratoliner(1938)  
Primer avión de  
pasajeros  
presurizado



20

## Un breve recuento histórico

- Igor Sikorsky, resuelve muchos de los problemas para el vuelo estable del helicóptero



VS-300, 1939

21

## Un breve recuento histórico

- Segunda Guerra Mundial



Spitfire



Avro Lancaster



P-51 Mustang



Mitsubishi Zero fighter type 52



B-17G Flying Fortress



Messerschmitt BF-109

22

## Un breve recuento histórico

- El primer motor jet fue diseñado por Frank Whittle (Inglaterra) en 1930
- Primer jet



Heinkel 178 (Alemania, 1939)

23

## Un breve recuento histórico

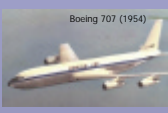


El Sikorsky XR-4 voló por primera vez en 1942

24

## Un breve recuento histórico

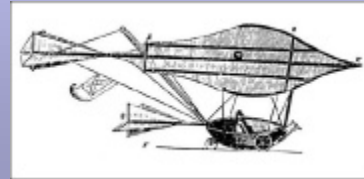
- Desarrollo de la aviación comercial en la era del jet



25

## Control en la historia de la aviación\*

- Uso de superficies aerodinámicas para mejorar la estabilidad (Cayley, 1853)

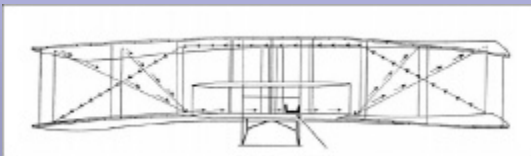


\* D. S. Bernstein, "Feedback control: an invisible thread in the history of technology," Control Systems Magazine, IEEE, vol. 22, pp. 53-68, 2002.

26

## Control en la historia de la aviación

- Combado de las alas para control lateral (hermanos Wright, 1903)



27

## Control en la historia de la aviación

- Superficies independientes para control de dirección – alerones (Curtiss, 1908)



Gold Bug

28

## Control en la historia de la aviación

- Primera demostración de estabilización de actitud usando Giróscopos (Lawrence Sperry, 1914)



29

## Control en la historia de la aviación

- Mejores instrumentos y ayudas de navegación permitieron el desarrollo de sistemas avanzados de piloto automático
- Máquinas de cálculo primitivas fueron usadas especialmente para el diseño minimizando las pruebas en túneles de viento

30

## Control en la historia de la aviación

- Los primeros sistemas de control fueron mecánicos
- El primer computador simulador de vuelo en tiempo real fue el Whirlwind en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1944
- El cohete V-2 de Alemania (segunda Guerra Mundial) usó un computador primitivo para su control

31

## Control en la historia de la aviación

- El interceptor CF-105 Arrow (Canadá, 1958) fue el primer avión en usar un computador analogo para mejorar las características de vuelo (sistema de aumento de estabilidad)
- El F-16 de General Dynamics (ahora Lockheed-Martin) que entró en servicio a finales de los 70s fue el primer jet de combate en usar un sistema de control análogo (Fly-by-wire)

32

## Control en la historia de la aviación

- En un sistema de control fly-by-wire, no hay una conexión directa (mecánica o hidráulica) del piloto con las superficies de control
- Un computador procesa los comandos del piloto y genera las correcciones necesarias en las superficies de control usando actuadores eléctricos o hidráulicos

33

## Control en la historia de la aviación

- En 1972 la NASA probó un F-8 modificado con un sistema fly-by-wire digital



34

## Control en la historia de la aviación

- Aviones de combate modernos como el F-18, el F-22, el Joint Strike Fighter, el Eurofighter Typhoon, el JAS 39 Gripen sueco, y Rafale francés usan computadores a bordo para el control de vuelo

35

## Control en la historia de la aviación

- El MD-11 fue el primer avión comercial en usar sistemas de control asistidos por computador. El Airbus A340 también incorporó este tipo de controles



36

## Control en la historia de la aviación

- Los computadores también han revolucionado el diseño de aeronaves.
- El Boeing 777 fue el primer avión totalmente diseñado por computador (1994)



37

## Control en la historia de la aviación

Evolución en sistemas de navegación

- Navegación visual
- Radioayudas
- Sistemas de navegación inerciales
  - Electromecánicos
  - Estado Sólido (usando MEMS)
- Global Positioning System

38

## Control en la historia de la aviación

- En 1942 Honeywell inventó el piloto automático electrónico
- En 1947 un avión experimental de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos realizó el primer vuelo transatlántico completamente automático

39

## Control en la historia de la aviación

- Los sistemas de piloto automático actuales no solo permiten estabilizar la actitud del avión manteniendo la altitud y rumbo, también permiten seguir una secuencia de "waypoints", algunos son capaces de despegue y aterrizaje automático

40

## Vehículos aéreos no tripulados (UAV)

- Unmanned Aerial Vehicles (UAV)
- Son vehículos voladores sin piloto
- Los primeros UAVs eran controlados remotamente
- Actualmente los UAVs alcanzan diferentes grados de autonomía

41

## Automático→Autónomo→Inteligente

Incertidumbre

- Automático: capaz de realizar tareas predeterminadas sin la intervención de un operador
- Autónomo: capaz de reaccionar ante situaciones no predeterminadas (i.e. planear trayectorias, evitar obstáculos)
- Inteligente: capaz de reconocer entorno incierto y actuar de acuerdo con el para cumplir algún objetivo

42



## Aplicaciones de los UAVs

- Observación de desastres naturales (fuegos forestales, volcanes, inundaciones)
- Búsqueda y rescate
- Agricultura (aspersión de pesticidas, evaluación de cultivos)
- Monitoreo ambiental
- Reconocimiento de terreno
- Inspección de estructuras (carreteras, puentes, represas, poliductos, líneas de transmisión de energía)
- Vigilancia (en la ciudad, en carreteras)
- Defensa

43

## Categorías de UAVs\*



\* <http://uav.wff.nasa.gov/>

44

## Algunos UAVs\*

\* <http://uav.wff.nasa.gov/>  
<http://www.uavforum.com/#>

## UAVs tácticos locales



Javelin



Aerobot



Exdrone



AV Pointer



Aerosonde

46

## UAV tácticos regionales



Hunter



Outrider



SkyEye



Pioneer

47

## UAVs de larga duración



Altus



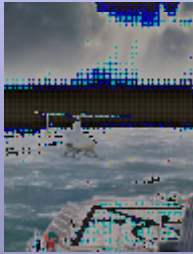
Predator



Helios

48

## UAVs de despegue y aterrizaje vertical (VTOL)



Fire Scout

(Vertical Tactical Unmanned Aerial Vehicle - VTUAV)



Cypher



Dragon Stalker

49

## UAVs de despegue y aterrizaje vertical (VTOL)\*



MARINER/Cypher II



Boeing Canard Rotor/Wing Dragonfly



Bombardier CL-327 Guardian

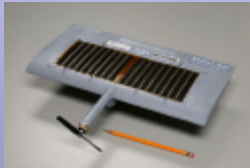


Bell Eagle Eye

\* <http://www.vtol.org/uavpaper/NavyUAV.htm>

50

## Micro UAVs



Hornet MAV



Wasp MAV

51

## UAVs de investigación



GTmax (Georgia Tech)\*



MIT\*\*



UC Berkeley\*\*\*

\* <http://controls.ae.gatech.edu/uavr/>  
 \*\* <http://gewurtz.mit.edu/research/heli.htm>  
 \*\*\* <http://robotics.eecs.berkeley.edu/bear/>

52

## Nuevas tecnologías en el control de UAVs

- Gran cantidad de actividades de investigación en UAVs
  - Metodologías de control
  - Detección e identificación de fallas
  - Control Tolerante a fallas
  - Control reconfigurable
  - Detección y evitación de límites
  - Control coordinado de varios vehículos en sistemas multiagente
  - Hardware y software

53

## Metodologías de control

- Técnicas para estabilizar la actitud del vehículo, seguimiento de trayectorias, planeamiento de misiones y trayectorias
- Métodos clásicos:
  - Controles PD o PID multilazo
- Métodos modernos:
  - Programación de ganancia (Gain scheduling)
  - Técnicas de control multimodo (sistemas híbridos)
  - Control adaptativo
  - Control predictivo no lineal
  - Control inteligente (difuso, neuronal, neurodifuso)

54

## Detección y aislamiento de fallas

- Sistemas para detectar la presencia de una falla y aislarla de los demás sistemas para evitar daños mayores
- Fallas típicas
  - Fallas en sensores
  - Fallas en actuadores (disminución o pérdida total de autoridad de control)
  - Fallas de hardware
- Pueden usar algún tipo de red neuronal (o neuro difusa) o un esquema de múltiples observadores

55

## Control tolerante a fallas

- Sistemas de control capaces de mantener el vehículo en vuelo a pesar de presentarse alguna falla
- Permiten recobrar el vehículo o terminar la misión con una pequeña disminución en el desempeño
- Normalmente se combinan con sistemas de detección y aislamiento de fallas dando lugar a sistemas de control reconfigurable

56

## Detección y evitación de límites

- Se trata de detectar cuando la dinámica del vehículo se aproxima a sus límites y tomar acciones correctivas en el sistema de control para evitarlos
- Ejemplos:
  - Evitar condiciones de bloqueo ("stall")
  - Evitar maniobras que comprometan la integridad estructural del vehículo

57

## Control coordinado en sistemas multiagente

- Sistemas multiagente son aquellos compuestos de varios elementos independientes (agentes) cada uno de los cuales puede contar con sistemas de control independientes
- Dada una misión u objetivo se trata de coordinar los diferentes agentes para lograr cumplir el objetivo de manera óptima
- Puede o no existir comunicación entre los diferentes agentes

58

## Hardware y software

- Desarrollo de sensores más pequeños, precisos e inteligentes
- Requerimientos de mayor capacidad de cómputo por unidad de peso y volumen
- Desarrollo de sistemas operativos de tiempo real, infraestructuras de software, métodos de validación y verificación
- La tecnología actual ya permite tener vehículos de reducido tamaño con una duración de vuelo y alcances razonables

59

## Videos y demostraciones

## Cuál es el futuro?

## Conclusiones

- Los avances tecnológicos de los últimos 100 años no solo nos han permitido volar, han permitido también pasar de vehículos pilotados, a vehículos automáticos, autónomos y cada vez más inteligentes
- Los vehículos autónomos presentan múltiples aplicaciones, con ellos podemos llegar a donde el hombre no puede, de hecho ya hemos llegado!

62

## Contacto

- Luis Benigno Gutiérrez Zea
  - Email: [lbgutie@ieee.org](mailto:lbgutie@ieee.org)
  - <http://www.prism.gatech.edu/~gte915w>
- Sitios de interés en Georgia Tech
  - Laboratorio de Sistemas de Control Inteligente  
<http://icsl.marc.gatech.edu>
  - Laboratorio de UAVs  
<http://controls.ae.gatech.edu/uavrf>
- Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín
  - Grupo A+D  
<http://www.upb.edu.co/automatica/A+D>

63