

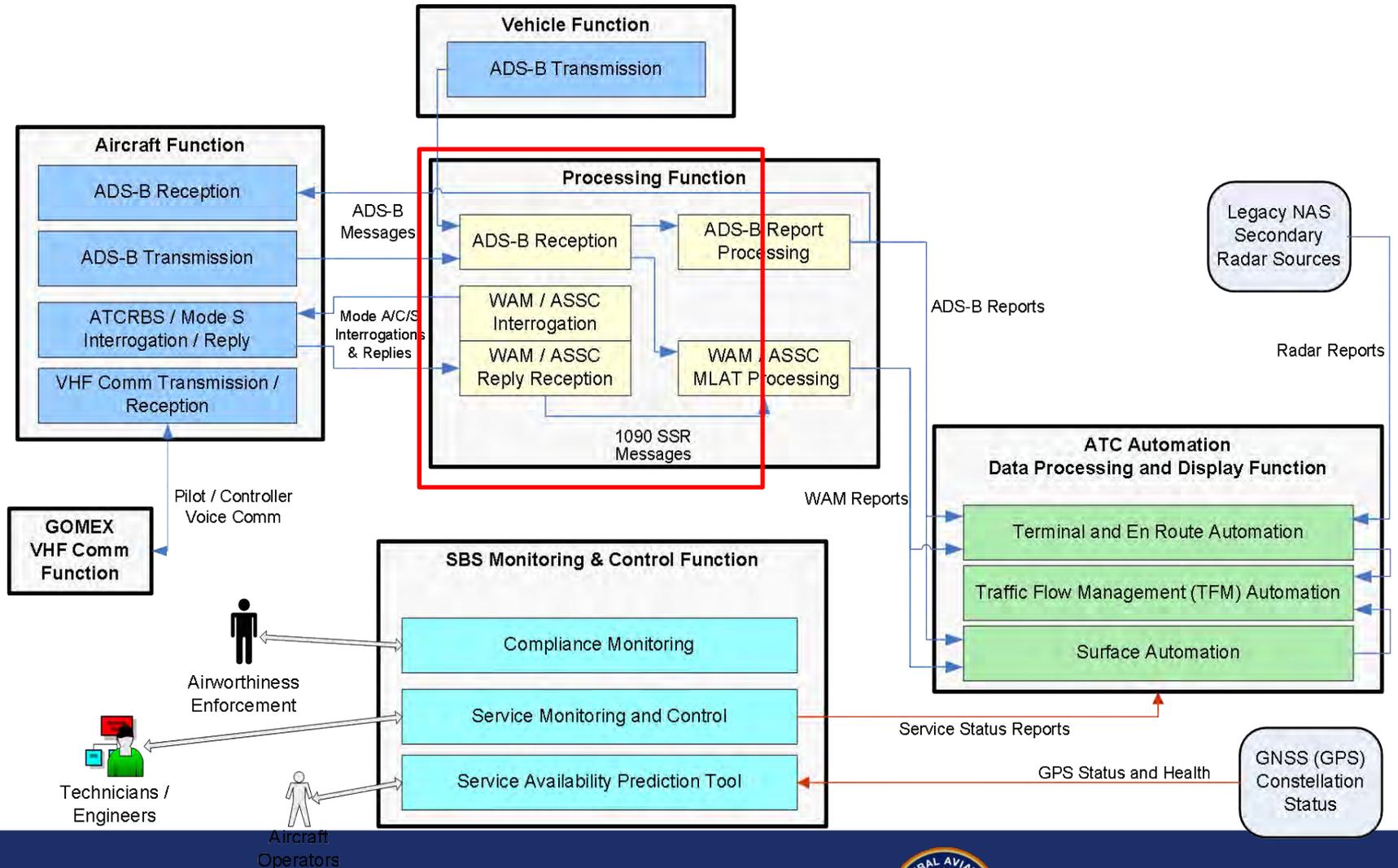
Panorama detallado de sistemas en tierra



Federal Aviation
Administration



Arquitectura funcional de vigilancia de la FAA

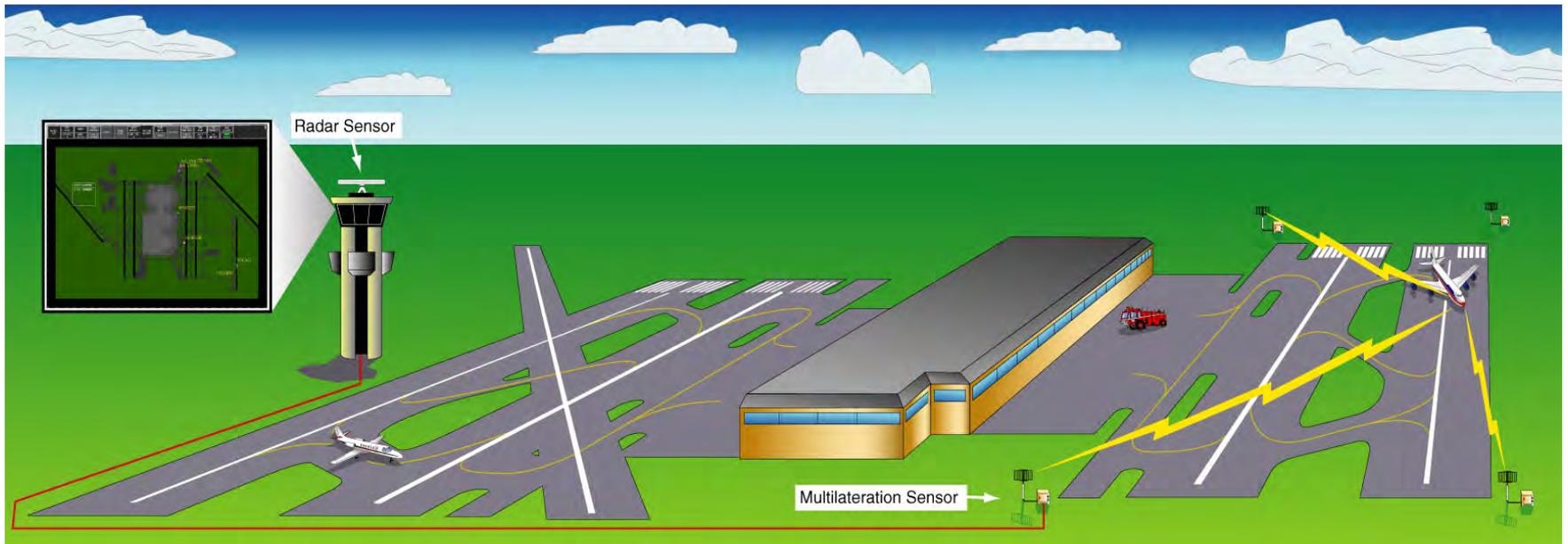


Sistemas ADS-B en tierra de la FAA



Propósito del ASDE-X

- El Equipo de detección en la superficie del aeropuerto- Modelo X(ASDE-X) proporciona vigilancia multi-sensor en superficie con identificación de aeronaves y vehículos



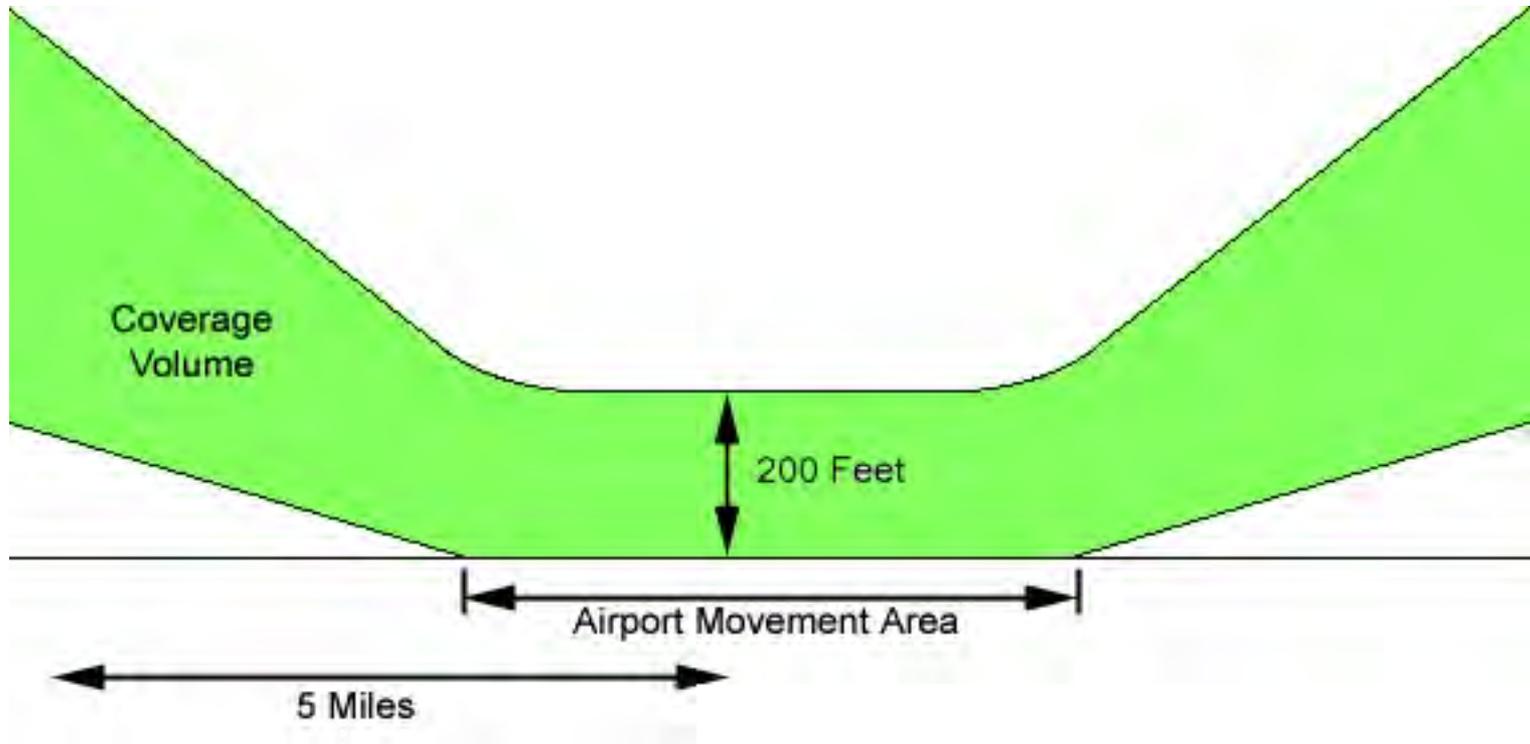
Propósito del ASDE-X

- **Capacidades del sistema**

- Proporcionar cobertura para superficie de aeropuerto y áreas de aproximamiento, hasta cinco millas náuticas
- Rastrear cerca de 200 objetivos de aproximación y superficie reales combinados, con una tasa máxima de iniciación de 20 nuevos objetivos por segundo
- Proporcionar identificación precisa de todas las aeronaves en tierra
- Tasa de actualización de una vez por segundo
- Inicio de seguimiento rápido, dentro de los cinco segundos después de ingresar al área de cobertura
- Integrar información de plan de vuelo
- Informar objetivos ADS-B



Volumen de cobertura ASDE-X



Subsistemas ASDE-X

- **Multilateración (MLAT)**
 - “Sistema secundario de vigilancia” que proporciona posición e identificación de todas las aeronaves y vehículos equipados con transpondedor
- **Radar de movimiento en la superficie(SMR)**
 - “Sistema primario de vigilancia” usado para detectar objetivos en superficie
- **Procesador de datos multi-sensor (MSDP)**
 - Combina todos los informes de sensor para un objetivo, determina la posición del objetivo y lo rastrea
- **Visualización de torre**
 - Proporciona datos y visualizaciones para el uso del controlador de tráfico aéreo y el técnico de instalaciones de vías aéreas

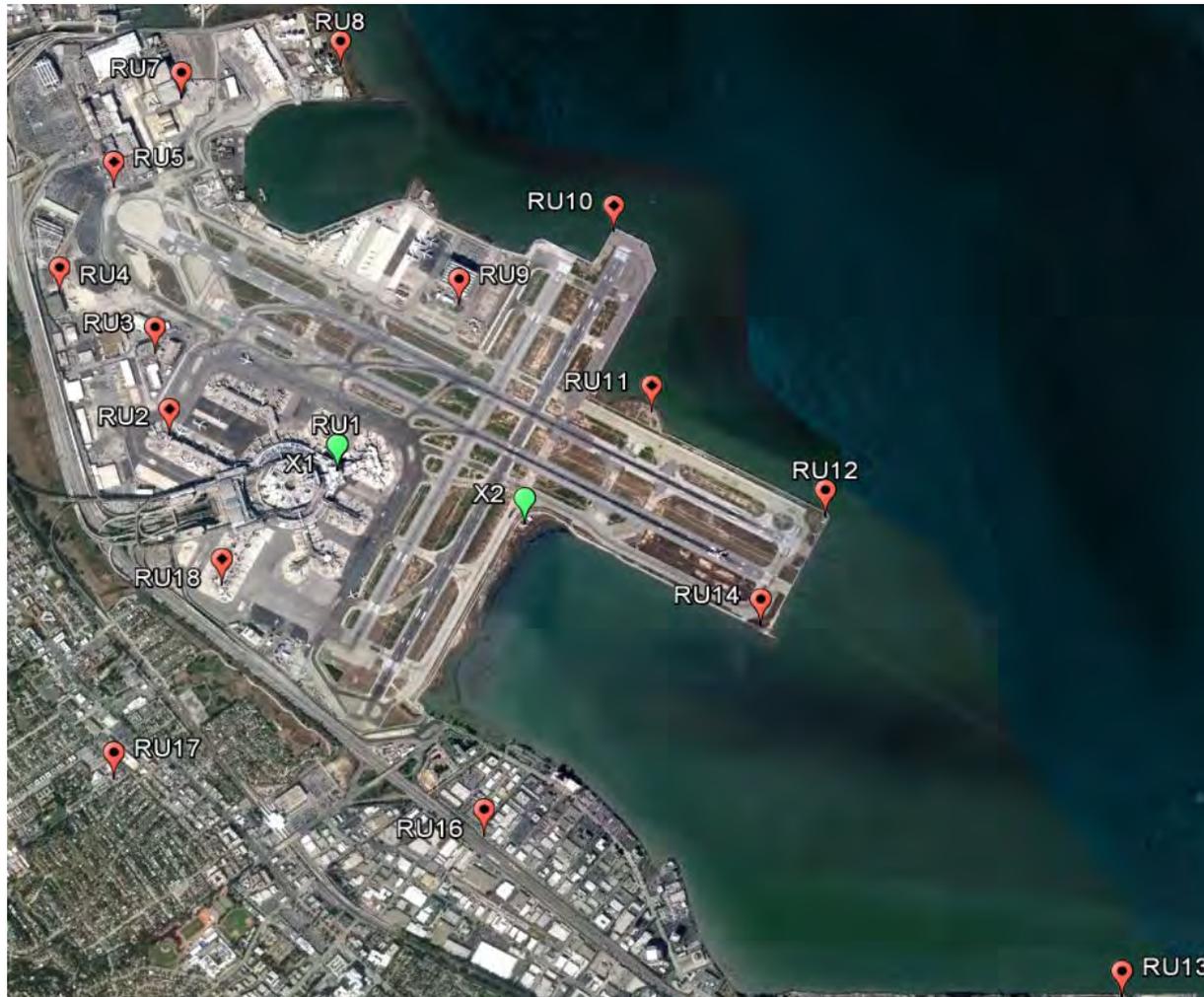


Subsistemas ASDE-X

- **Sistema de monitoreo remoto (RMS)**
 - Proporciona los datos y visualizaciones que utiliza el Técnico de facilitación de vías aéreas para monitorear, solucionar problemas y gestionar el ASDE-X
- **Comunicaciones**
 - Proporciona comunicaciones y conversión de protocolo entre subsistemas y otras fuentes de información como son ASR-9 y ARTS



Implementación MLAT en superficie (SFO)



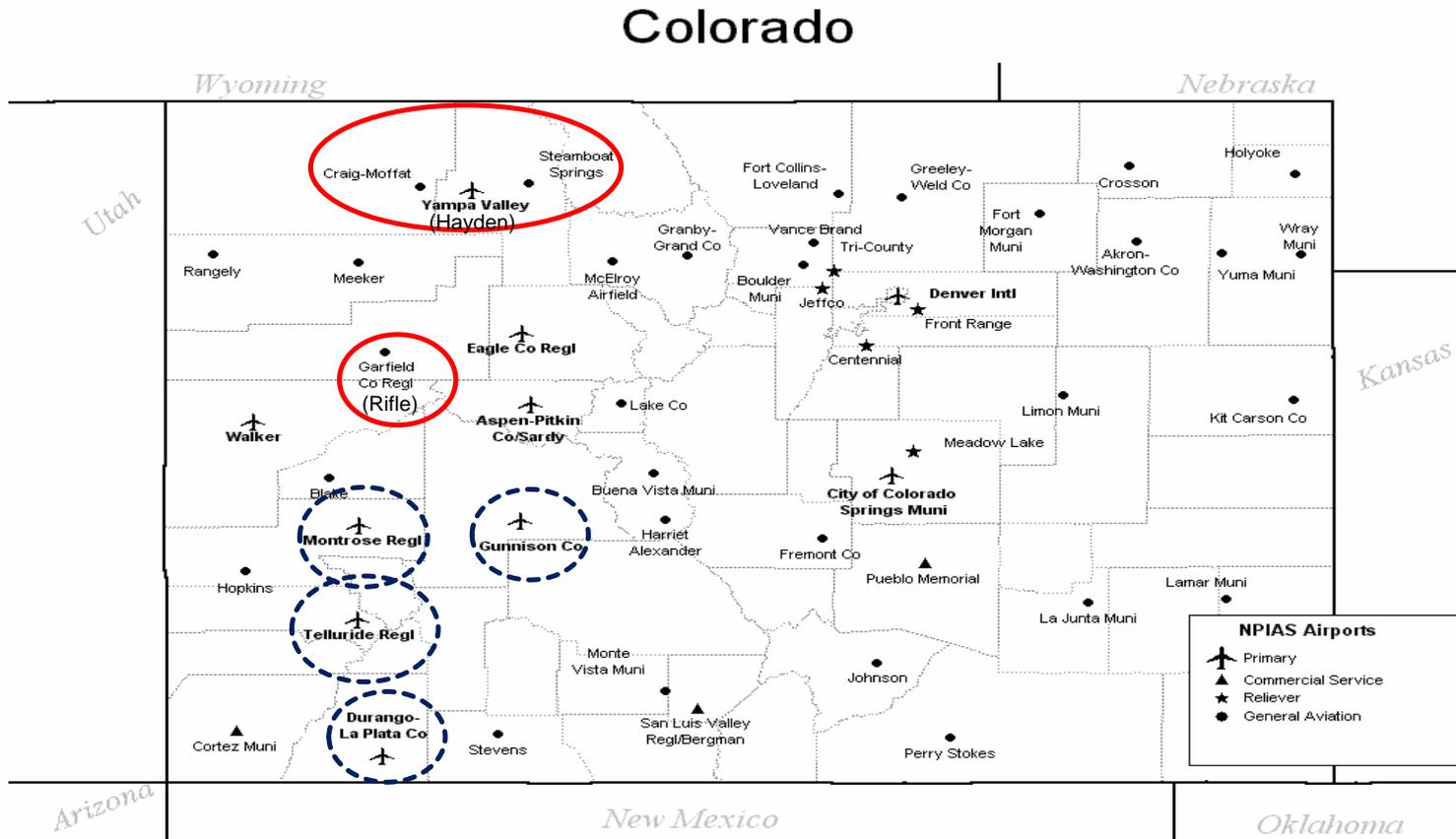
Federal Aviation
Administration

Propósito de la WAM

- WAM proporciona vigilancia secundaria con identificación de objetivos

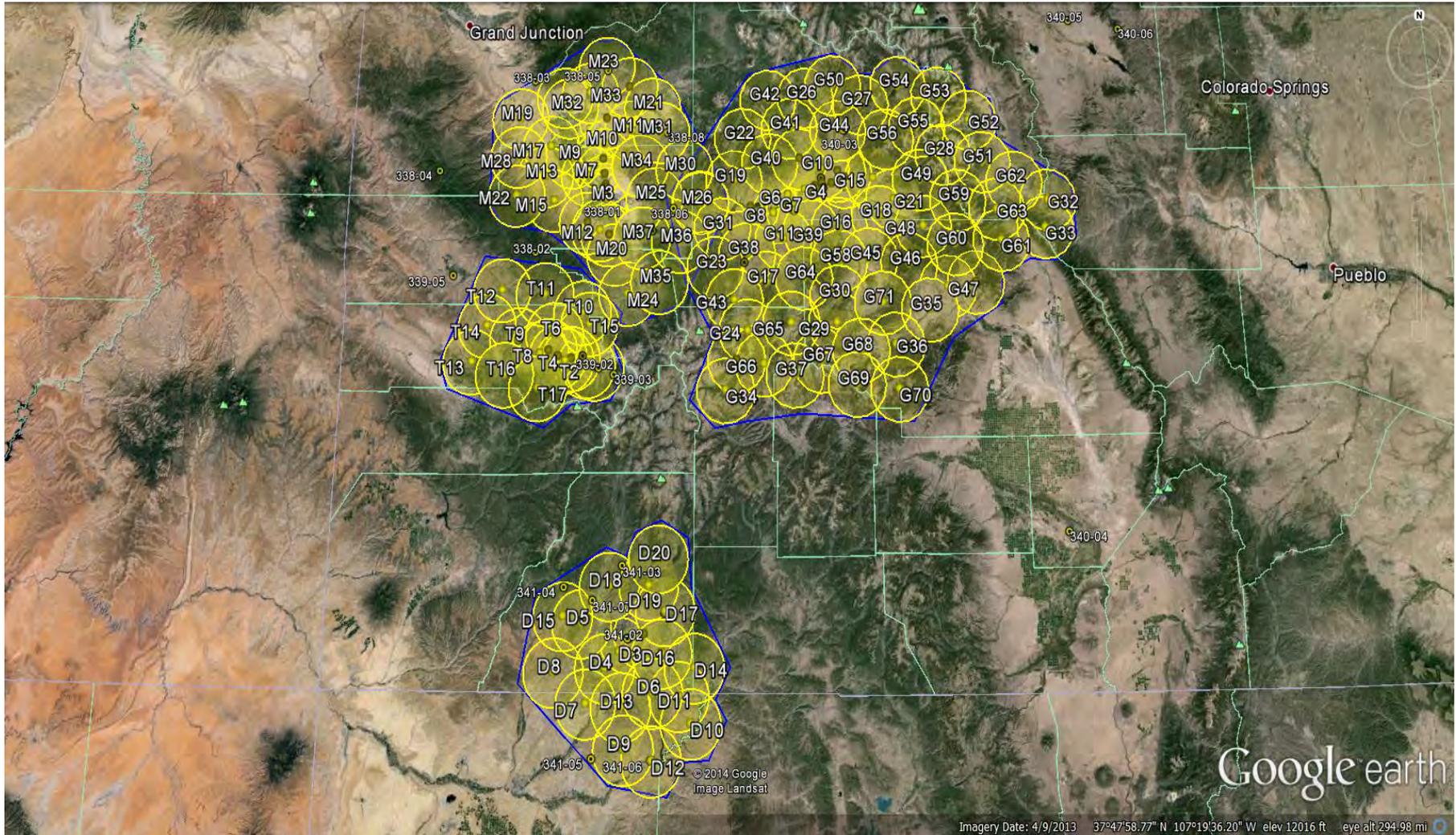


Implementación WAM (Colorado)



Federal Aviation
Administration

Implementación WAM (Colorado)



Federal Aviation
Administration

Teoría de la multilateración

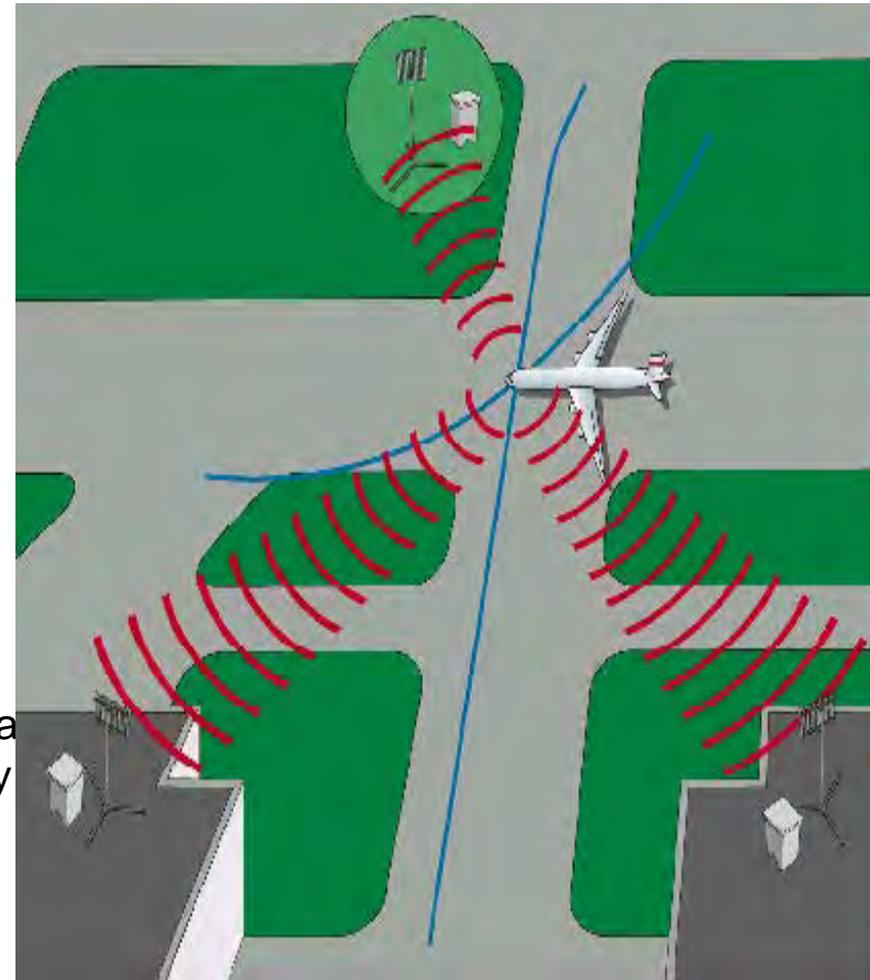
Concepto de multilateración



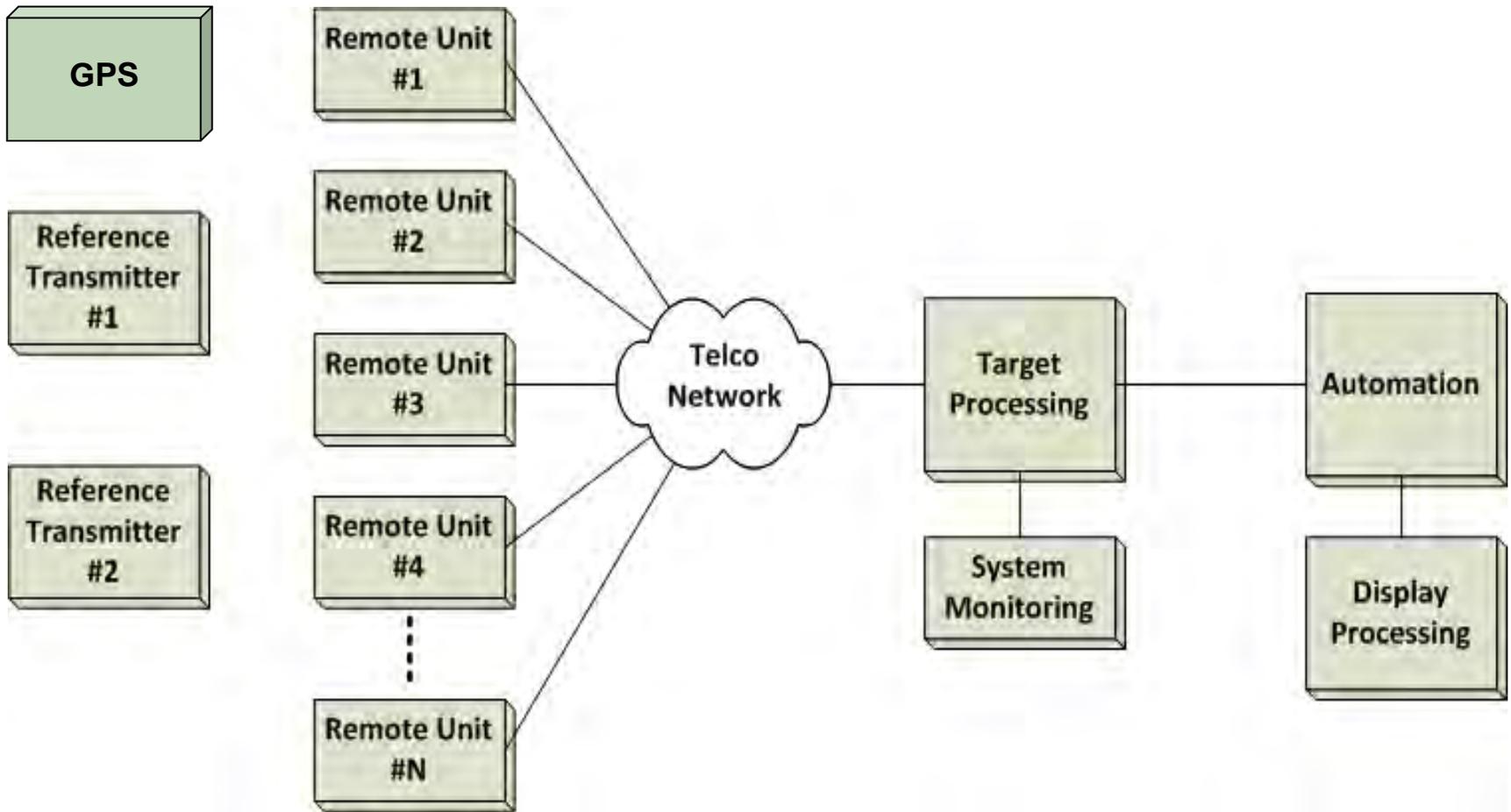
Federal Aviation
Administration

Concepto de multilateración

- La multilateración está basada en el procesamiento de la Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)
- El concepto clave de un sistema TDOA incluye lo siguiente:
 - La señal RF es recibida en Unidades remotas (RUs) múltiples. Nota: Mínimo 3 RUs se requieren para rastrear un objetivo.
 - La señal tiene una marca de tiempo en cada RU
 - La señal con marca de tiempo se envía desde cada RU a un procesador de destino (TP)
 - TP calcula la diferencia en el tiempo de llegada de la señal de una RU a todas las demás RU y genera arcos de solución
 - TP proporciona una ubicación estimada del objetivo (transpondedor) en una intersección teórica de solución de arco



Arquitectura de la multilateración



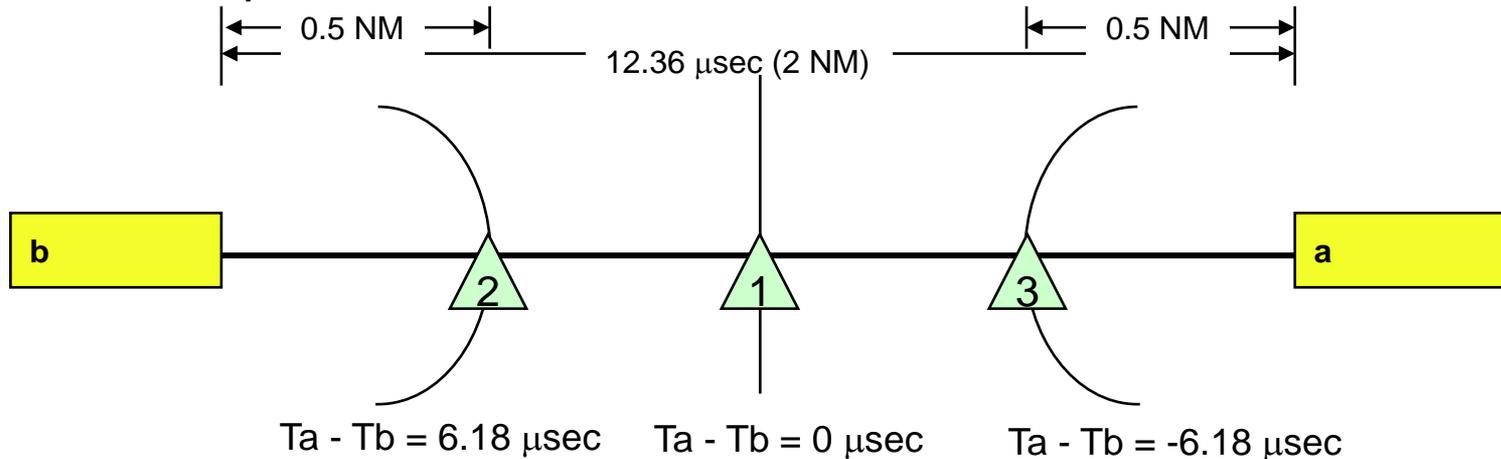
Teoría de la Multilateración

Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)



Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- Calculando la diferencia en el tiempo de llegada de una señal entre dos sensores.
 - Tiempo = Distancia
 - La energía RF viaja a la velocidad de la luz
 - La energía RF viaja a 1 NM en $6.18 \mu\text{sec}$
 - $\text{TDOA} = T_a - T_b$
 - La diferencia en el tiempo de llegada se puede trazar en un arco hiperbólico
 - Cada punto del arco debe mantener esta diferencia

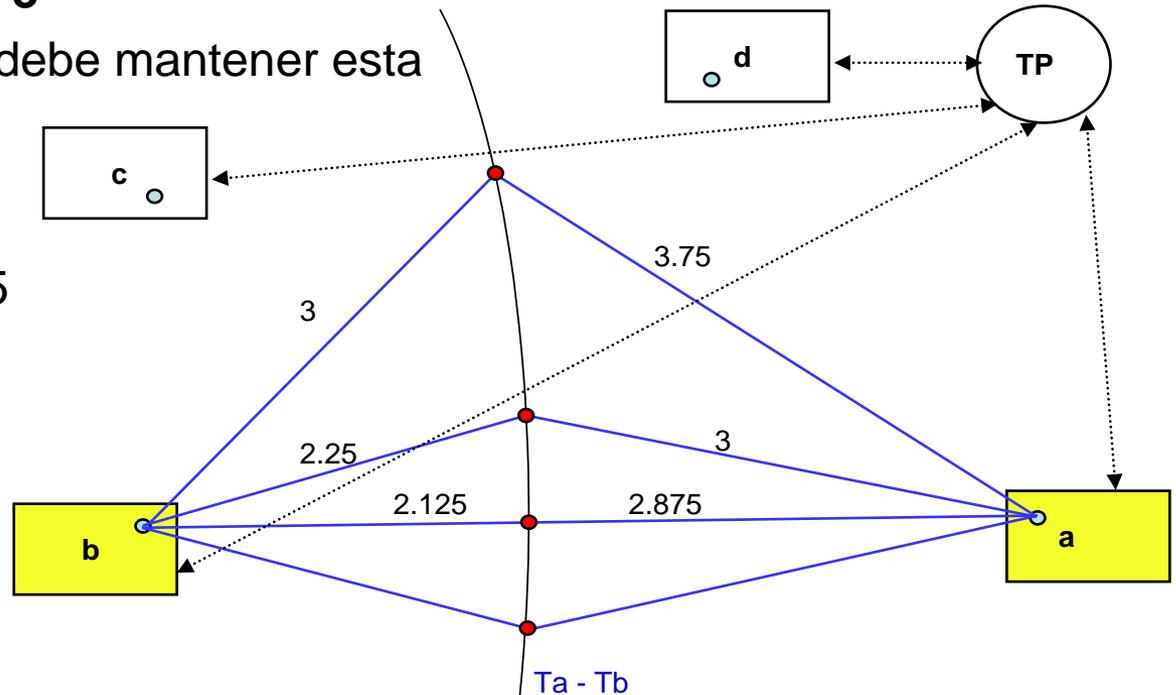


Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- **El Procesador de objetivos (TP) realiza cálculos TDOA para generar arcos hiperbólicos de solución**

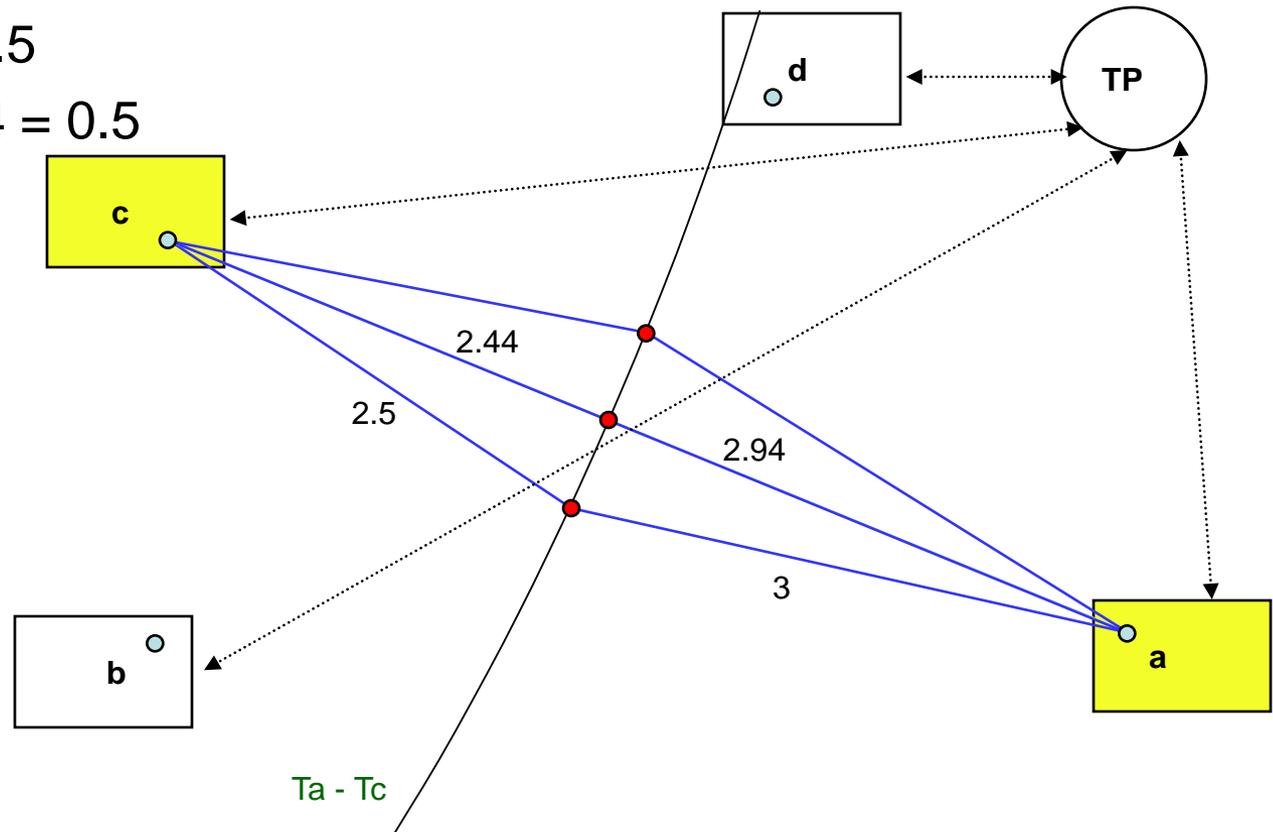
- El transpondedor debe existir en algún lugar del arco
- $TDOA = (\text{Tiempo recibido en RU a}) - (\text{Tiempo recibido en RU b})$
- $TDOA = T_a - T_b = 0.75$
- Cada punto del arco debe mantener esta diferencia de tiempo

- $2.875 - \underline{\quad} = 0.75$
- $3 - \underline{\quad} = 0.75$
- $\underline{\quad} - 3 = 0.75$



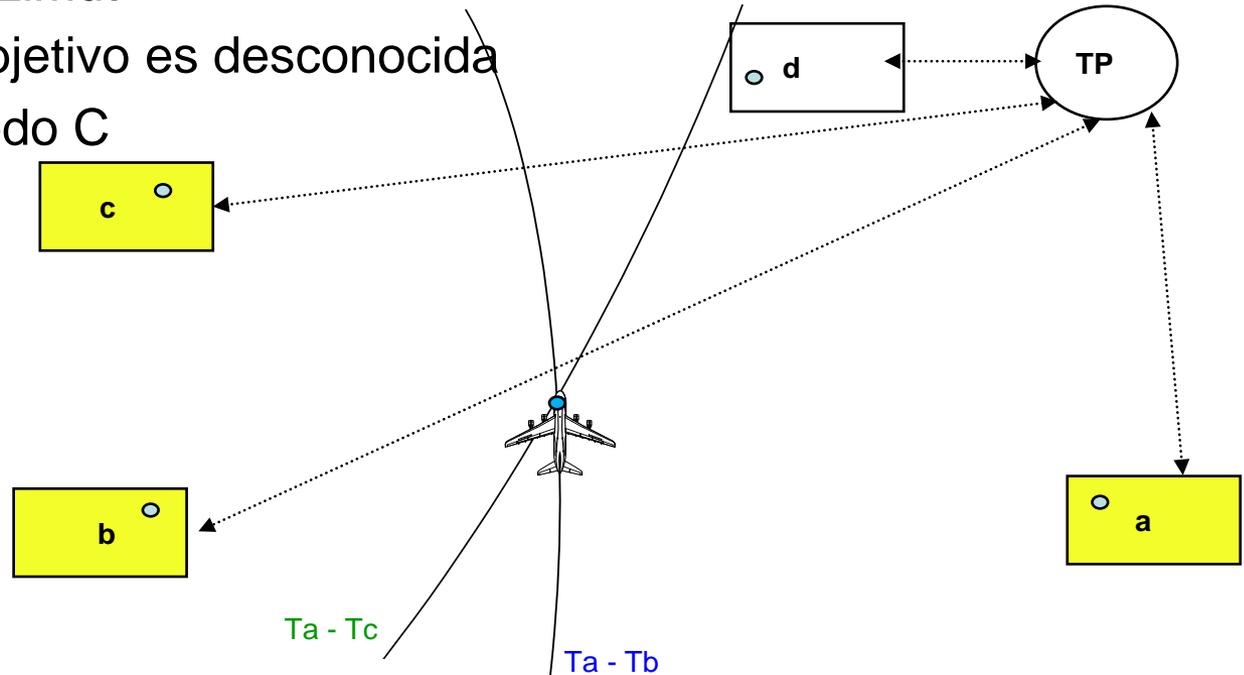
Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- **Por sí mismo, un arco no proporciona información útil.**
 - Calculando del segundo arco de solución para RU hacia RU c
 - $TDOA = T_a - T_c = 0.5$
 - $3 - 2.5 = 0.5$
 - $2.94 - 2.44 = 0.5$



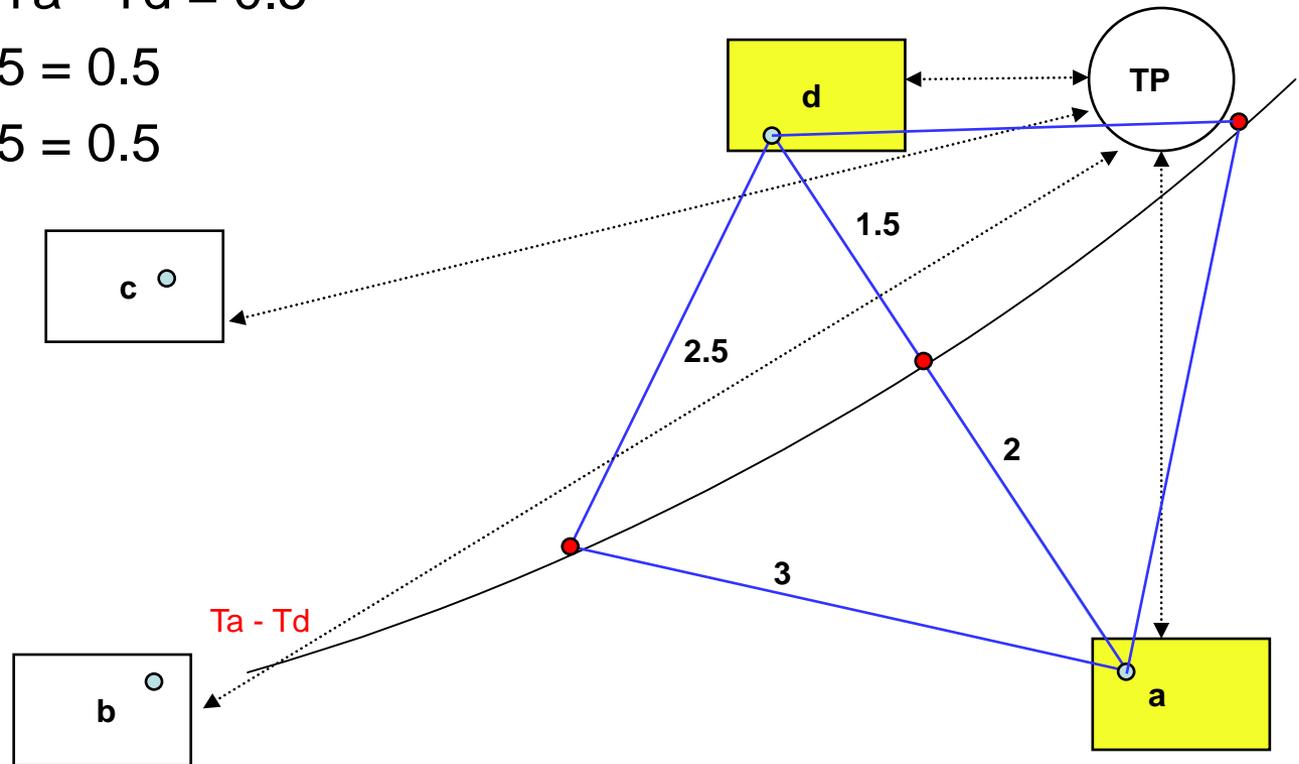
Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- Para obtener un punto bidimensional, se requieren tres RU.
 - 3 RUs desarrolla una hipérbola que se intersecta, se usa una fórmula 2D
(sin eje Z)
 - Una posición 2d es generada
 - Da alcance y azimut
 - La altura del objetivo es desconocida sin más RU o Modo C



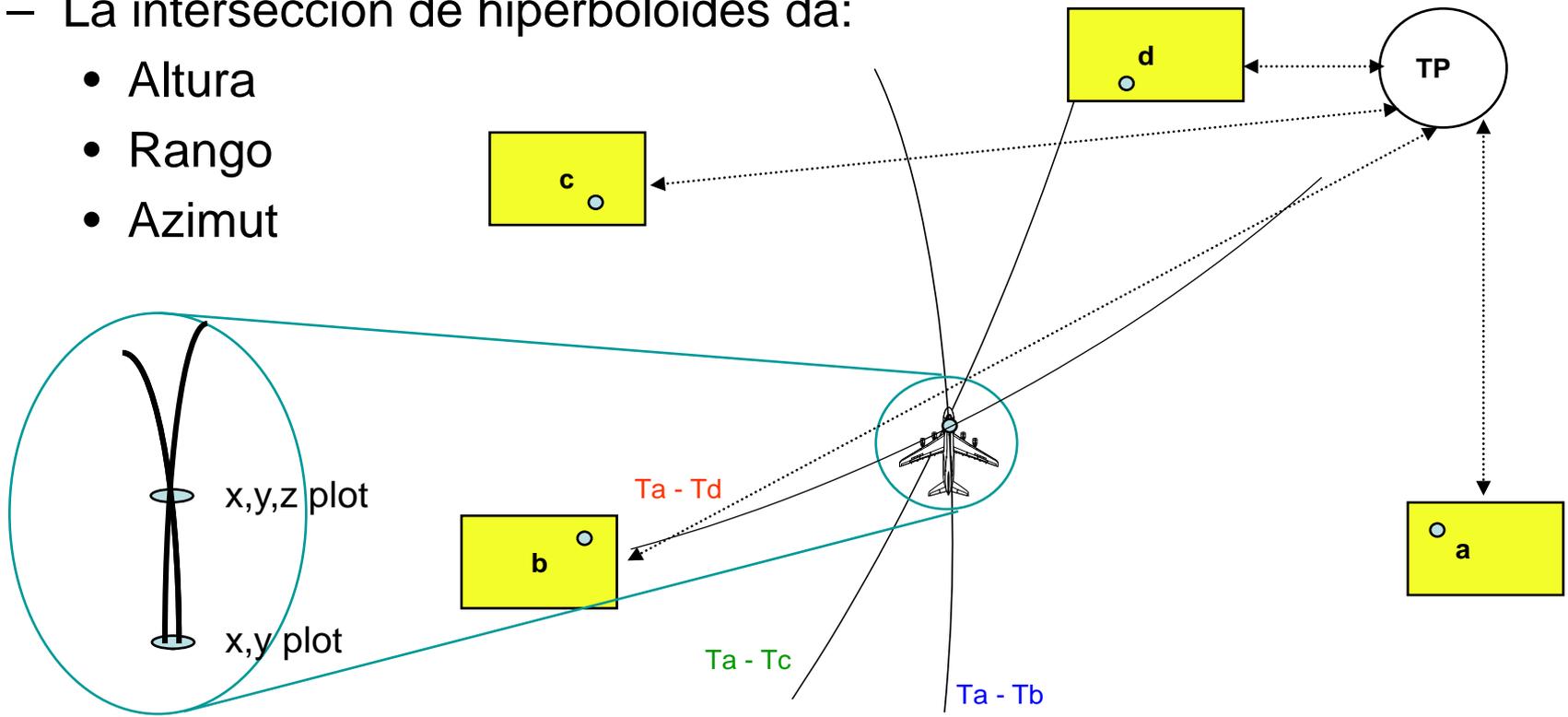
Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- Para obtener un punto tridimensional, se requieren cuatro o más RU.
 - Calculando el arco de la solución para RU a para RU d
 - $TDOA = T_a - T_d = 0.5$
 - $3 - 2.5 = 0.5$
 - $2 - 1.5 = 0.5$



Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- Con cuatro o más RU, se usa la fórmula 3D
 - Se calcula el eje Z
 - Genera hiperboloides (hipérbola 3D)
 - La intersección de hiperboloides da:
 - Altura
 - Rango
 - Azimut



Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- Los sistemas WAM son capaces de utilizar GPS como una fuente primaria de sincronización
- Si la sincronización GPS no es primaria o no está disponible, el procesamiento TDOA puede ser realizado en el TP utilizando Sellos de tiempo finos de las unidades remotas (RUs)
 - Cada RU tiene un reloj de funcionamiento libre
 - La resolución de la marca de tiempo afectará la precisión de la solución
 - Los relojes de funcionamiento libre en las RU no están sincronizados
 - La Multilateración no es posible a menos que los relojes de las RU se corrijan a una base de tiempo común
- **El Transmisor de referencia(RefTran) proporciona una señal conocida para calibrar la función TP TDOA**
 - RefTrans emite señales espontáneas una vez por segundo
 - TP conoce:
 - La posición RefTran e identificación del Modo S
 - Posiciones RU
 - TDOA esperado entre todos los RUs para cada señal espontánea RefTran



Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

– Calibración TDOA

- Los relojes en RUs no tienen un tiempo común de referencia
- El TP calcula TDOA en las señales espontáneas RefTran
- El TP inicia la calibración TDOA una vez recibida la identificación única de RefTran Modo-S
- El TP utiliza la diferencia entre el esperado RefTran TDOA y el cálculo de TDOA para calcular las compensaciones de RU
 - Las compensaciones de RU se utilizan para proporcionar una base de tiempo común requerida para que tenga lugar la multilateración
- El TP también calcula las tasas de deriva
 - Las tasas de deriva explican las diferencias en los circuitos de reloj RU (ancho de reloj, velocidad, sesgo, etc.)
 - TP utiliza las tasas de deriva para predecir con precisión los cambios en el desplazamiento de RU mientras el RefTran no se este emitiendo señales espontáneas
 - Las tasas de deriva mejora la precisión de la durante el periodo de 1 segundo entre las señales espontáneas RefTran

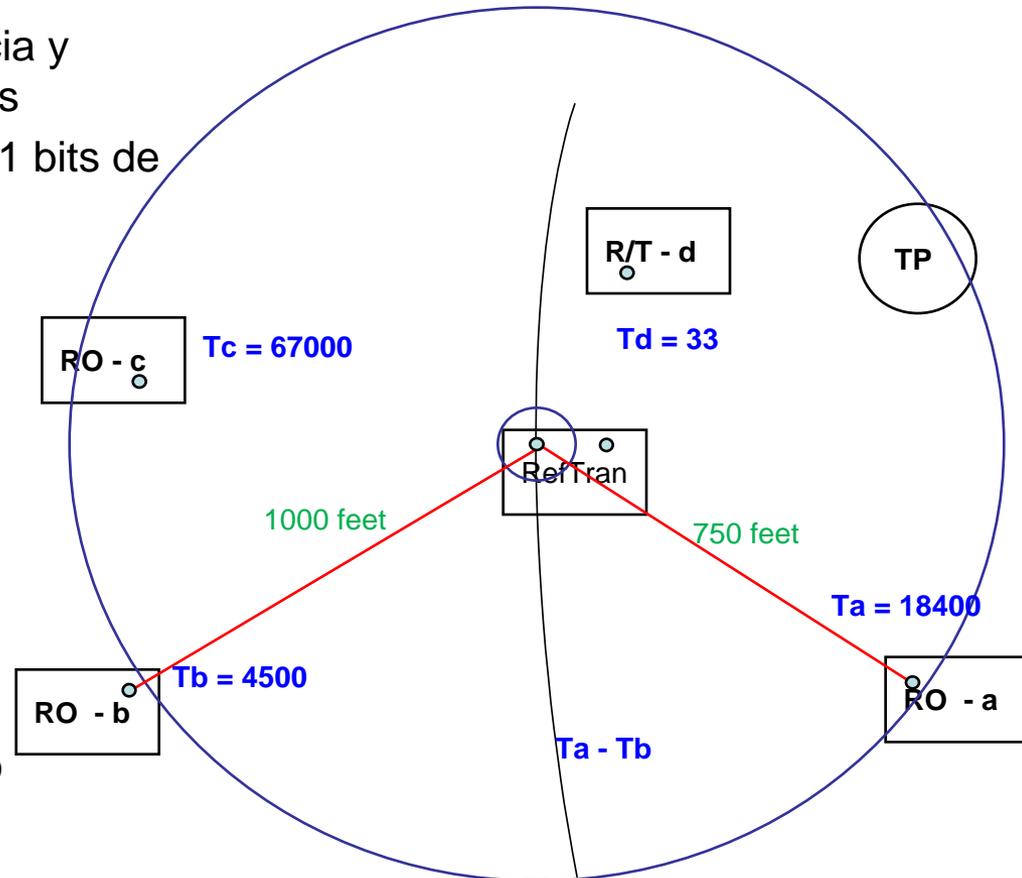


Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

• Ejemplo de RefTran:

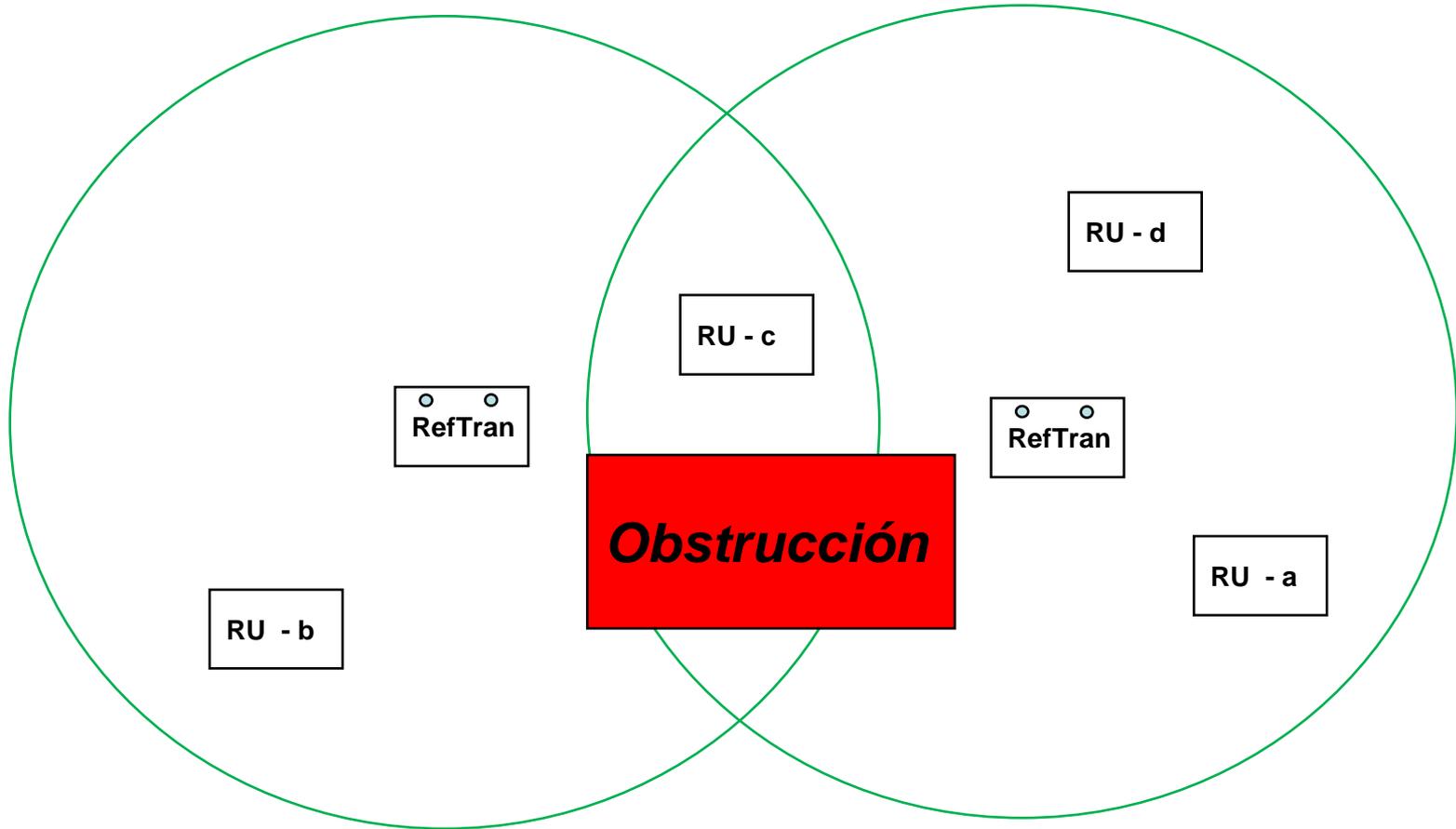
- El TP utiliza una RU como referencia y calcula el TDOA para todas las RUs
- Los contadores RU proporcionan 31 bits de información
- 1 tic de reloj = 10 nsec
- Ejemplo:

- TDOA esperado
 $T_a - T_b = -250$ pies
 -250 pies = -250 nsec
 -250 nsec = -25 tics
- TDOA calculado
 $T_a - T_b = 18400 - 4500$
 $T_a - T_b = 13900$ tics
- Offset = Calculado – Esperado
Offset = $13900 - (-25)$
Offset = 13925 tics
- Próxima devolución, se pueden calcular las tasas de deriva

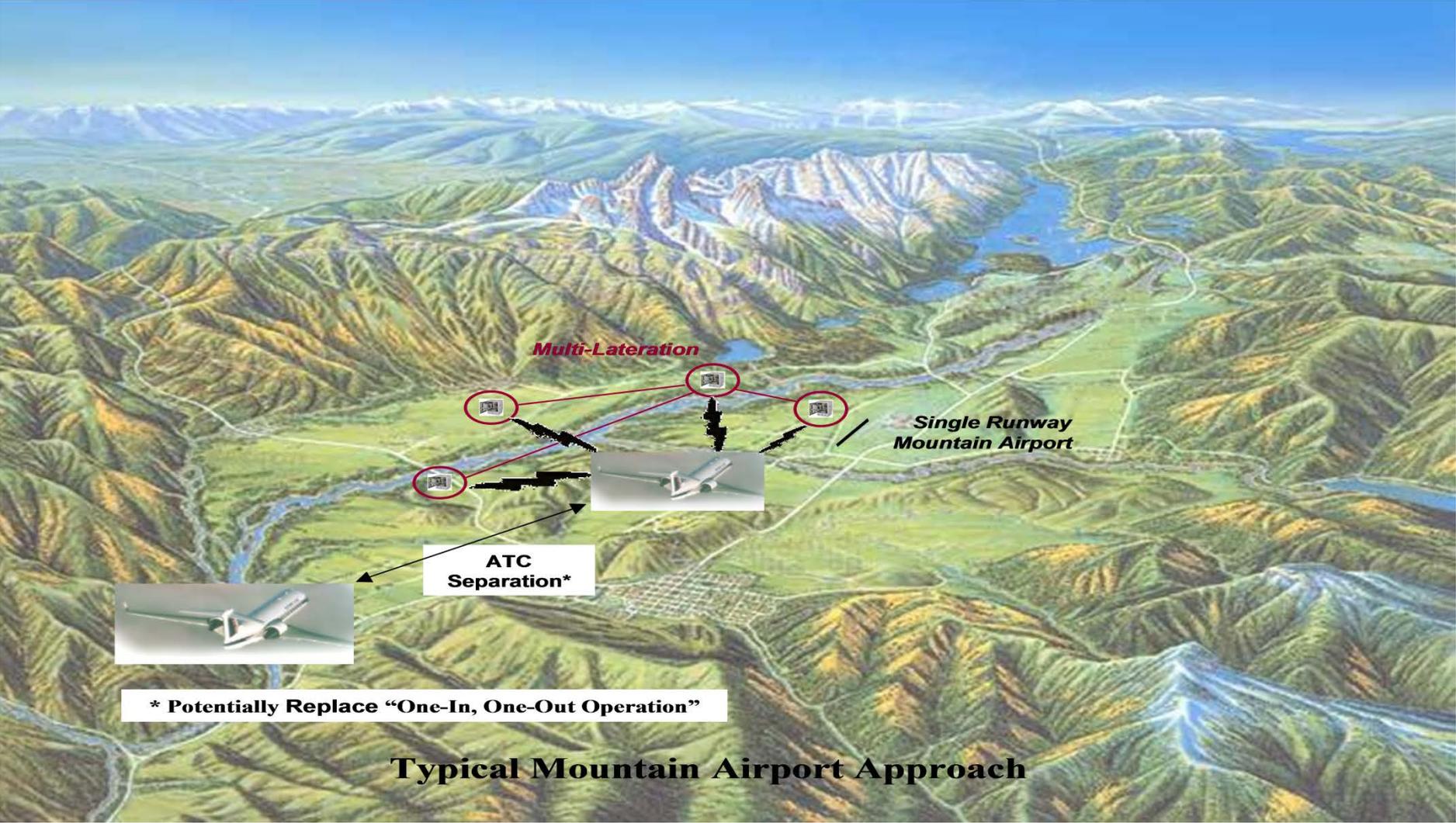


Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

- RefTrans deben ser vistas por más de una RU para calibración TDOA



Ejemplo de multilateración MLAT



Teoría de la multilateración

Detección y rastreo de objetivos



Detección y rastreo de objetivos

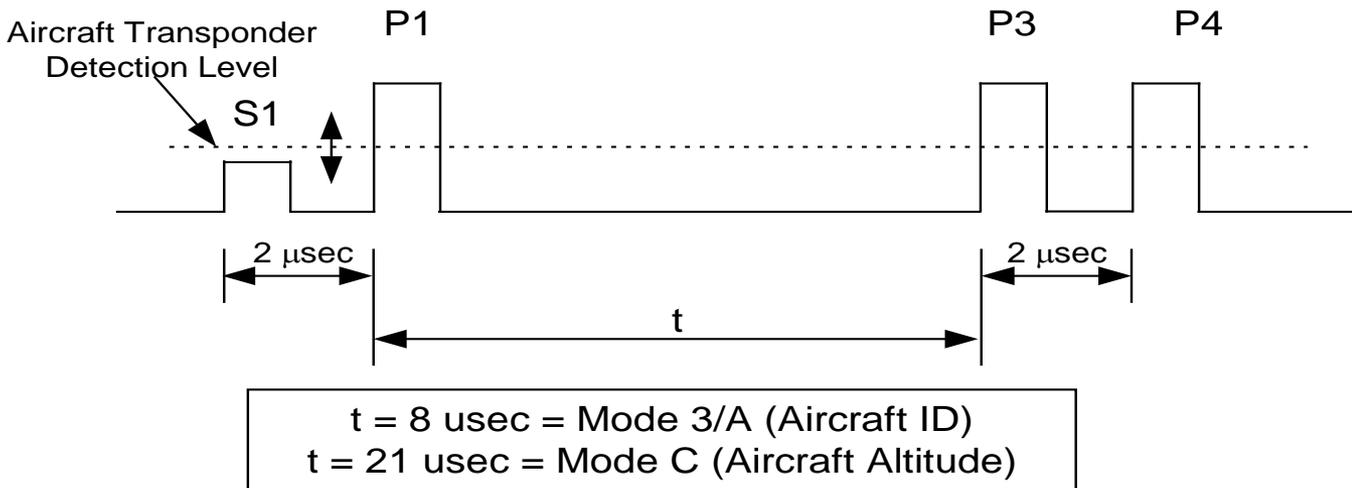
- El sistema WAM realiza detección y rastreo de objetivos sobre señales de Baliza Radar del Control de Tráfico Aéreo (ATCRBS), Modo S y ADS-B.
- Puede recibir, decodificar y determinar un TDOA preciso para:
 - Respuestas al Sistema de Baliza Radar del Control de Tráfico Aéreo (ATCRBS).
 - Señales (espontáneas y respuestas) de Modo S (Seleccionado)
 - Señales de vigilancia dependiente automática (ADS-B)



ATCRBS

• Interrogación WAM ATCRBS

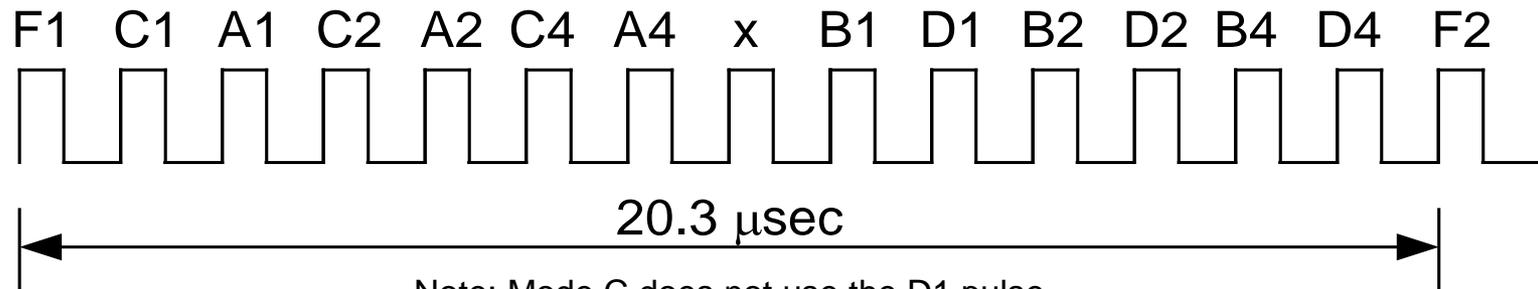
- P1 y P3 indican el Modo (3/A o C), con $0.8 \mu\text{sec}$ de ancho y 8 o 21 μsec de separación.
- P4 sigue P3 por $2 \mu\text{sec}$ y también tiene $0.8 \mu\text{sec}$ de ancho. Transpondedores ATCRBS no detectarán P4. Transpondedores Modo S no decodificarán un P4 $0.8 \mu\text{sec}$ como una sola solicitud de llamada general ATCRBS (suprimiendo el transpondedor Modo S).
- S1 preside P1 por $2 \mu\text{sec}$ y es utilizado para simular una supresión de pulso P1-P2.



ATCRBS

- **Respuestas ATCRBS**

- Una respuesta ATCRBS proporciona identificación de aeronaves (3/A) o información de altitud (C)
- Transpondedores ATCRBS responden utilizando su código Modo 3/A o un código C usando una respuesta de 12 bits por 2 pulsos de referencia
- Los pulsos de referencia tienen una separación de 20.3 μ sec
- La respuesta de 12 bit consiste en cuatro números de 3 bit, A B C D, la decodificación proporciona el código de respuesta



Note: Mode C does not use the D1 pulse



Adquisición de objetivo ATCRBS

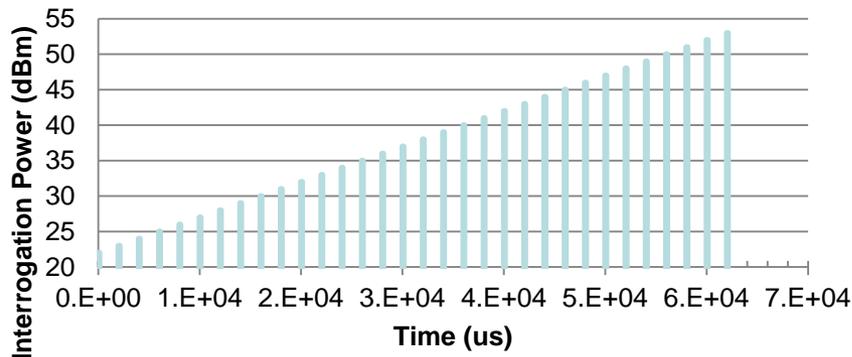
- **Los objetivos ATCRBS son adquiridos utilizando interrogaciones utilizando una secuencia de Whisper/Shout.**
- **Interrogaciones en pareja**
 - Una pareja son dos interrogaciones con un espacio fijo reducido (100s microsegundos)
 - Una pareja Modo A/A son dos interrogaciones de toda llamada Modo A con espacio fijo reducido
 - El espaciado de pareja se fija en cada interrogador dentro de un volumen de servicio y permite que las respuestas se filtren en los receptores para reducir el impacto de FRUIT y solo entregar las respuestas relevantes.



Adquisición de objetivo ATCRBS

- **Secuencia (adquisición) Whisper/Shout (W/S)**
 - Serie de interrogaciones de rango limitado con niveles de potencia crecientes
 - Análogo a mirar dardos en un tablero de dardos e identificar grupos de dardos por su número de anillo
 - La secuencia tiene una tasa de repetición baja (~ 5 s) en cada radio (\Rightarrow en varias radios, la tasa de repetición efectiva es de ~ 2.5 s)

Example mode 3/A interrogation sequence with 32 steps & 2 ms spacing



Rastreo de objetivo ATCRBS

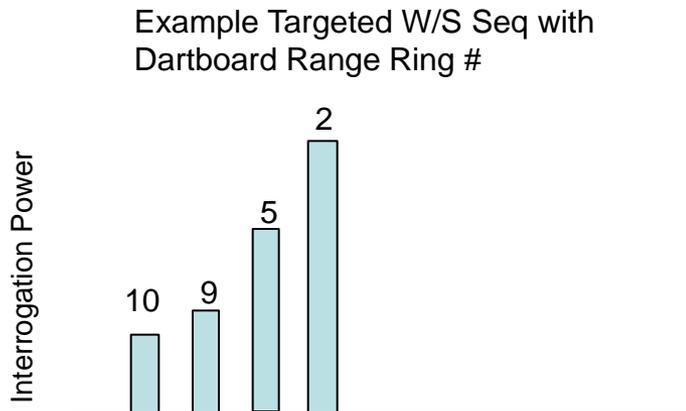
- **Objetivos ATCRBS son rastreados utilizando interrogaciones en pareja AC en una secuencia Whisper/Shout.**
- **Interrogaciones en pareja**
 - Interrogaciones en pareja son similares a la adquisición de parejas, pero son Modo AC (un Modo A Toda llamada, seguida de un Modo C Toda llamada)
 - El espacio fijo de pareja para una interrogación de Modo AC es la misma que una Modo AA en relación con cada radio de interrogatorio
- **Secuencia W/S**
 - El servidor MLAT dirige únicamente aquellos pasos necesarios W/S para interrogar objetivos adquiridos previamente



Rastreo de objetivo ATCRBS

- **Secuencia W/S (dirigida)**

- Serie de interrogatorios de alcance limitado con niveles de potencia específicos para los objetivos de la región
- Análogo a seleccionar grupos de dardos en un tablero de dardos por su número de anillo
- La secuencia tiene una tasa de repetición más alta en la radio que la secuencia de adquisición



Modo S

- **Modo S**

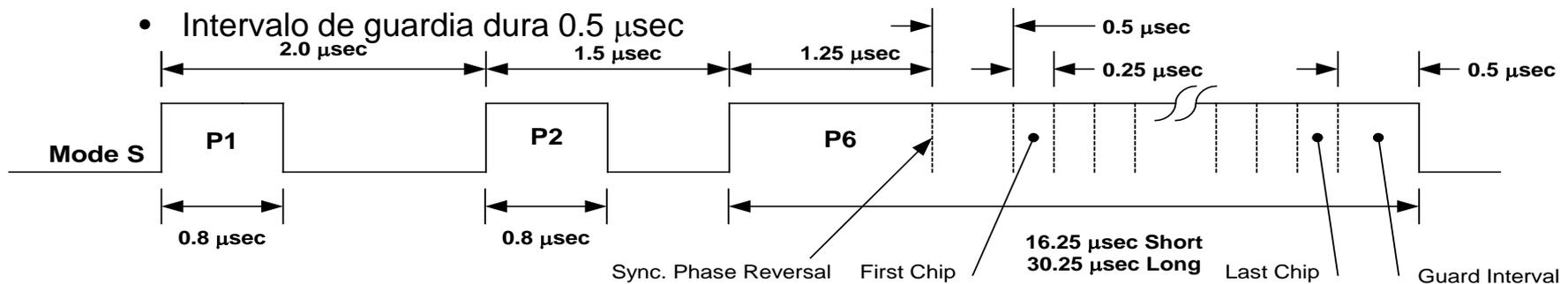
- Las aeronaves equipadas con transpondedores Modo S asignan un código de dirección único de 24-bit de la OACI
- La aeronave Modo S emite espontáneamente su código una vez cada segundo
- Utilizando este código único, las interrogaciones pueden ser dirigidas a una aeronave específica y las respuestas pueden ser identificadas sin ambigüedad
- El Modo S utiliza una combinación de “Toda-llamada” e interrogatorios dirigidos
 - WAM utiliza interrogaciones Modo S dirigidos
 - Esto permite recibir respuestas de aeronaves poco espaciadas sin interferencia mutua..
- Las señales Modo S pueden contener:
 - Identificación (ID) Modo S ID (siempre)
 - Información de identificación de aeronave (Modo 3/A)
 - Información de altitud (Modo C)
 - ADS-B



Modo S

• Interrogaciones Modo S

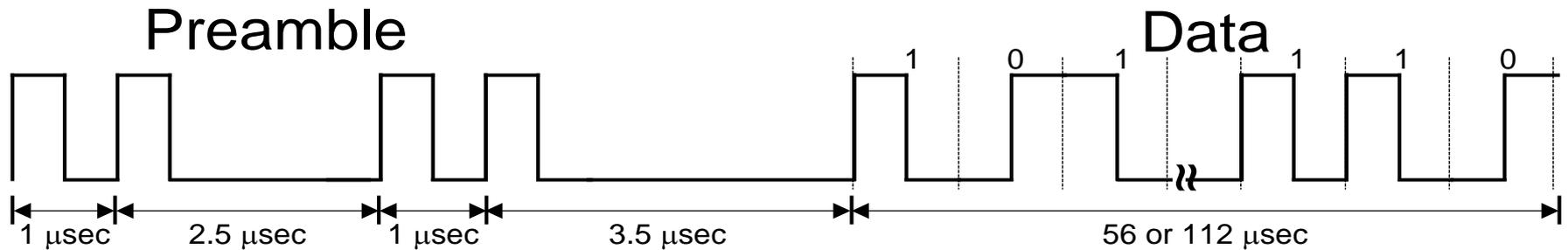
- Preámbulo que consta de pulsos P1 y P2 (0.8 μ sec de ancho, 2 0.8 μ sec de separación) seguidos de un bloque de datos de 16,25 o 30,25 0.8 μ sec (1,5 0.8 μ sec después de P2).
- P1 y P2 son utilizados para suprimir respuestas ATCRBS
- El bloque de datos es un pulso de RF que utiliza inversiones de fase para representar datos binarios.
 - Modulación por desplazamiento de fase diferencial binaria (DPSK): posibles inversiones de fase denominadas "chips"
 - Inversión de fase de 180 grados = binario 1
 - Sin fase de inversión = binario 0
 - 56 o 112 "chips" de datos
 - Fase de sincronización (primera fase de inversión) 2.75 μ sec después P2
 - Los chips de datos inician 0.5 μ sec después de la fase de sincronización y pueden ocurrir cada 0.25 μ sec
 - Intervalo de guardia dura 0.5 μ sec



Modo S

• Respuestas Modo S

- Los transpondedores Modo S responden con su dirección y cualquier otra información utilizando un preámbulo y un bloque de datos.
- El preámbulo consiste en cuatro pulsos de $0.5 \mu\text{sec}$ separados por 1 , 2.5 , y $1 \mu\text{sec}$.
- $3.5 \mu\text{sec}$ después del último pulso está un bloque de datos de 56 or $112 \mu\text{sec}$.
- Un bloque de datos está dividido en segmentos de $1 \mu\text{sec}$. Cada segmento es un bit.
- Si la primera mitad del segmento tiene un pulso, es bit es un 1 . Si la segunda mitad del segmento tiene un pulso, el bit es un 0 .



Formatos de enlace ascendente y descendente de Modo S

Uplink Format/Modes	Downlink Format/Modes	Content
UF 0	DF 0	Short Air/Air Surveillance
UF 4	DF 4	Altitude Request/Altitude Reply
UF 4	DF 20	Altitude Request/Comm B Altitude Reply
UF 5	DF 5	ID Request/ID Reply
UF 5	DF 21	ID Request/Comm B ID Reply
UF 11	DF 11	Mode S Only All-Call/All-Call Reply
UF 16	DF 16	Long Air/Air Surveillance
UF 20	DF 4	Comm A Altitude Request/Altitude Reply
UF 20	DF 20	Comm A Altitude Request/Comm B Altitude Reply
UF 21	DF 5	Comm A ID Request/ID Reply
UF 21	DF 21	Comm A ID Request/Comm B ID Reply
UF 24	DF 24	Comm C/Comm D
	DF 17/18	ADS-B

Refer to RTCA DO-181E Section 2.2.14.1

Refer to ICAO Annex 10 Volume IV, July 2007, Sections 3.1.2.3.2.1.1 and 3.1.2.3.2.1.2



Federal Aviation
Administration

Adquisición/Rastreo de objetivos Modo-S

- **WAM utiliza señales espontáneas de objetivos Modo S (DF11s) para la adquisición de objetivos**
- **WAM realiza cálculos TDOA en múltiples señales espontáneas para determinar la posición horizontal**
- **La ID de vuelo y la presión de la altitud son determinado por interrogaciones selectivas UF5/UF4**
 - La posición del objetivo se utiliza para determinar qué radio se usa para los interrogatorios, así como el nivel de potencia requerido.
 - La velocidad a la que se transmiten las interrogaciones está determinada por el intervalo de actualización y los tiempos de validez de los datos necesarios para admitir un estándar de separación dado.
- **Las interrogaciones no son programadas para aeronaves equipadas 1090ES LV2.**



ADS-B

- **Vigilancia dependiente automática (ADS-B)**
 - Se transmite y recibe actualmente utilizando el Modo S extendido
 - Depende del sistema mundial de determinación de la posición (GPS)
 - Las aeronaves equipadas transmiten su posición precisa junto con otros datos, como velocidad y altitud.



Adquisición / rastreo de objetivo ADS-B

- **WAM utiliza objetivos de señales espontáneas ADS-B (1090ES and UAT) para la adquisición de objetivos**
- **WAM realiza cálculos TDOA en múltiples señales espontáneas para determinar la posición horizontal**
- **La identificación y la presión de altitud es extraída de las señales espontáneas recibidas**
 - No se programarán interrogaciones para estos objetivos
- **Solamente objetivos de vínculo ADS-B Versión 2 (260B/282B) son apoyados con esta lógica**
 - El vínculo V2 es adquirido para la regla de cumplimiento ADS-B
 - Otras versiones de vínculos requerirán interrogaciones Modo S o ATCRBS para determinar ID y presión de altitud

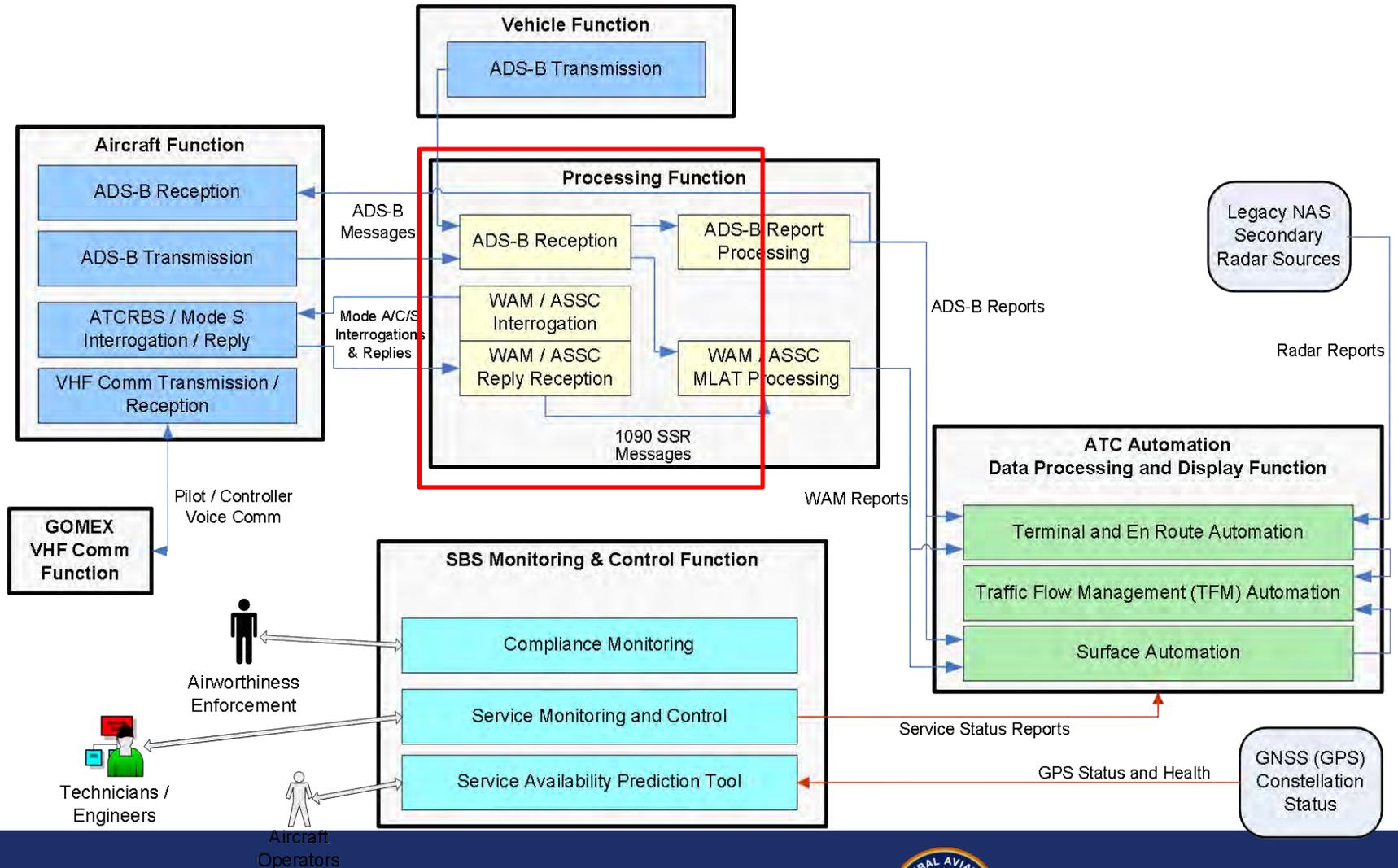


Determinación de altura

- **MLAT normalmente utiliza solución de multilateración 2-D para realizar estimados de posición**
- **La altitud informada por el objetivo es utilizada como altura en la solución**
 - La solución de multilateración 3-D es usada únicamente cuando se no se reportado el Modo C
- **El error entre la altura real y la altitud informada puede causar un sesgo de posición horizontal**
 - La corrección de altitud se utiliza a menudo para minimizar los errores.
- **La altura sin corregir se informa a los sistemas de automatización**



Arquitectura funcional de vigilancia de la FAA



Conclusión

- **Concepto de Multilateración**
 - Basado en procesamiento TDOA
 - Detección de señal de múltiples RU
 - WAM multilateraliza sobre ATCRBS y Modo S
- **TDOA**
 - Tiempo = Distancia
 - La energía RF viaja a 1 NM en 6.18 μ sec
 - La diferencia del tiempo de llegada de la señal en varias RU se utiliza para generar arcos de solución
 - Tres UR desarrollan arcos de solución hiperbólicos
 - Cuatro o más RU desarrollan arcos de solución hiperboloide
- **ATCRBS y Modo S**
 - WAM interroga ATCRBS utilizando Susurro/Grito
 - WAM interroga Modo S utilizando interrogaciones dirigidas
- **Consulte el Manual de vigilancia aeronáutica DOC 9924.**

