

# Colaboración ADS-B en la Predicción SSR

Oscar Bria<sup>✉</sup>[0000-0002-0001-4248] y Javier Giacomantone<sup>[0000-0001-9362-9323]</sup>

Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI) - Facultad de Informática  
Universidad Nacional de La Plata - Argentina  
[onb@info.unlp.edu.ar](mailto:onb@info.unlp.edu.ar)

**Resumen** En una estación de vigilancia del tránsito aéreo con SSR y ADS-B, la información única generada por cada sensor se puede utilizar para mejorar el rendimiento del otro. Cuando el SSR interroga Roll-Call en modo S, predice la posición de la aeronave para el siguiente giro de antena en base a estimaciones previas. Esta comunicación presenta un método de colaboración del rastreador del ADS-B con el SSR que mejora el desempeño del predictor que necesitan las interrogaciones Roll-Call.

*Palabras Clave*— ADS-B, SSR, Modo S, Colaboración entre Sensores

## 1. Introducción

El Radar de Vigilancia Secundario SSR (Secondary Surveillance Radar) y el Sistema de Vigilancia Dependiente Automática por Difusión ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) son dos tecnologías cooperativas para la vigilancia del tráfico aéreo.

El SSR [1] determina en forma independiente la posición de la aeronave que, a su vez, es interrogada por el radar para recabar información complementaria. El SSR de Modo S (Selective) [2] es la segunda generación del SSR; permite interrogar en forma selectiva, interrogaciones Roll-Call, valiéndose de un código de identificación de 24 bits exclusivo de cada aeronave [3,4]. Los SSR suelen tener una tasa de actualización de la posición entre 4 y 10 segundos dependiendo de la velocidad de rotación de la antena.

El ADS-B [5] es dependiente de los Sistemas Globales de Navegación Satelital (por ejemplo, GPS) para la determinación de la posición que es emitida junto a otra información en forma espontánea por la aeronave y recibida en tierra por un sistema más simple que un radar. Los ADS-B suelen tener una tasa de actualización de la posición de alrededor de 1 segundo [6,8].

Todo sistema SSR o ADS-B suele incluir un rastreador (tracker) [7]. Un rastreador estima la posición de cada aeronave repitiendo una secuencia de dos pasos, un paso de predicción seguido de un paso de medición corregida. La medición corregida es en realidad una combinación de una medición original de un sensor con la predicción del último paso. La predicción se calcula en base a la historia cercana de mediciones corregidas. El paso de predicción es parte

fundamental en los SSR de Modo S para poder interrogar selectivamente a cada aeronave en el momento oportuno.

Hoy en día es común encontrar un SSR Modo S y un ADS-B instalados en un mismo sitio, por lo tanto, con coberturas mayormente superpuestas. En lo que sigue se presenta un método de utilización del rastreador del ADS-B para mejorar la predicción que necesita el SSR de Modo S, cuando ambos sensores se ubican en un mismo sitio. Una de las motivaciones para proponer esta colaboración es que, como ya se mostró, la tasa de actualización de la posición del ADS-B es sensiblemente menor que la del SSR.

## 2. Método Colaborativo

El proceso de predicción de la ubicación de una aeronave bajo vigilancia para la visita de la próxima vuelta del SSR de modo S es fundamental para realizar interrogatorios selectivos. La próxima interrogación no sólo debe realizarse dentro del sector azimutal donde va a estar la aeronave, sino que también se debe predecir a qué distancia estará del radar para poder programar el intercalado de las interrogaciones del mismo período de manera eficiente.

El proceso básico de seguimiento del SSR tiene una cierta precisión como predictor que depende de la tasa de actualización de las mediciones del SSR, los errores de medición del SSR, la ubicación del objetivo en relación con el SSR, la complejidad del modelo de planta del rastreador y de la implementación numérica, y la complejidad de las maniobras que se admiten para las aeronaves.

La función de colaboración tiene como objetivo mejorar la precisión de la predicción básica del rastreador del SSR lo suficiente como para que la mejora resultante en el rendimiento del programador de interrogaciones Roll-Call sea significativa. La base lógica de la mejora es, por un lado, que dos medidas de una variable aleatoria combinadas dan una mejor estimación y, por otro lado, que la tasa de actualización de las medidas del ADS-B es generalmente mayor que la del SSR, con lo que se mejora la predicción aunque sólo se utilice ADS-B. Se debe destacar que la predicción podría mejorarse aún más si se incorporan otros datos de la aeronave.

Una mejora significativa podría ser, por ejemplo, poder predecir maniobras de aeronaves más abruptas con suficiente precisión. Maniobras que, de no ser predichas con suficiente precisión por el rastreador básico, podrían producir errores en la programación del Roll-Call con posible pérdida del rastro de estas aeronaves.

Si hay una mejora significativa, su cuantía puede depender de otros factores críticos, entre los que a priori se pueden contar: tasa de actualización relativa de los datos ADS-B con respecto a los datos SSR, calibración relativa de los datos ADS-B con respecto a los datos SSR, todas las características generales ya comentadas para el seguidor básico, pero en este caso relativas al tipo de rastreador compuesto que se implemente.

Caracterizar y ponderar todas las variables mencionadas es una tarea compleja que debe realizarse antes de cerrar el diseño preliminar de la función de colaboración. Además, la evaluación de la mejora con medidas en el radar puede

resultar muy difícil de realizar con vuelos reales *in situ*, o incluso con simuladores de carga. Por tanto, la definición de variables a almacenar para realizar estudios estadísticos y analíticos y/o simulaciones son de vital importancia no solo para el diseño sino también para la prueba de mejora. Las estadísticas deben incluir la contabilidad de fallas, que debe definirse en el diseño detallado y es una métrica de rendimiento importante cuando se busca visualizar mejoras.

A modo de ejemplo, supongamos que la composición se realiza tras las salidas de predicción de dos rastreadores en principio disjuntos: el rastreador básico del SSR [9] y un rastreador de los datos ADS-B. Se conocerán las predicciones de posición de ambos rastreadores para la próxima visita de cualquier objetivo. Estas predicciones se pueden combinar para obtener un mejor estimador que cualquier resultado por separado, si se cumplen ciertas condiciones (Figura 1). Una alternativa al esquema anterior es que los datos iniciales de ambos sensores alimenten un rastreador compuesto cuya salida es un mejor estimador que cualquier salida separada. Cualquier implementación deberá abordar los problemas del sistema de referencia común, calibración y sincronización ya mencionados. Además, la implementación debe contemplar aspectos como la ausencia momentánea o no de datos en alguno de los sensores. El diseño preliminar también debe determinar si los rastreadores se implementan para 2D o 3D.

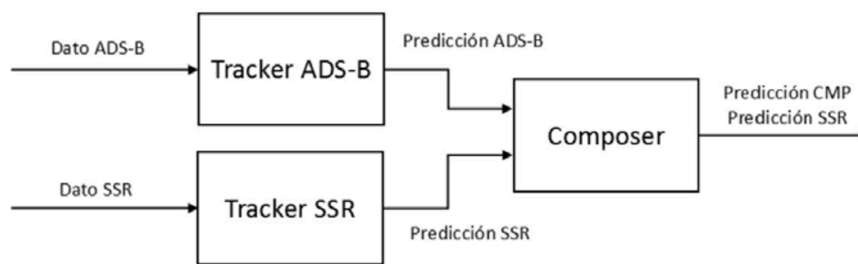


Figura 1: Diagrama de Bloques de la Colaboración.

La Figura 2 muestra las predicciones de un rastreador ADS-B (verde), un rastreador SSR (negro) y la composición de ambas estimaciones (azul) para una trayectoria (en rojo) con un cambio brusco de dirección. El móvil se dirige primero de Oeste a Este y luego de Sur a Norte, a velocidad constante en ambos tramos. La predicción del rastreador ADS-B es claramente mejor que la predicción del rastreador SSR durante e inmediatamente después del cambio brusco. Además, la predicción compuesta no es mejor que la predicción del rastreador ADS-B en la misma área para esta realización. Pero lo más importante es que no sabemos si todas, algunas o ninguna de las predicciones son suficientemente precisas para el programador de interrogaciones, no solo en la zona del cambio brusco sino en toda la trayectoria. Debe mencionarse que para este ejemplo se han hecho varias suposiciones y simplificaciones, entre ellas se ha asumido un

perfecto sincronismo entre los datos ADS-B y los datos SSR, lo cual no es real en la práctica; También se asumió que la frecuencia de actualización del SSR es periódica, lo cual tampoco es real. En ambos rastreadores se utilizó un filtro de Kalman [10] para modelar la trayectoria de velocidad constante con una componente de velocidad aleatoria con distribución normal con media cero [11]. En ambos casos, los valores de los parámetros del modelo son arbitrarios, elegidos solo con fines ilustrativos. Se observa que el error máximo del seguidor básico (negro) es aproximadamente igual a 1 paso a velocidad constante, para ambas coordenadas de este ejemplo 2D.

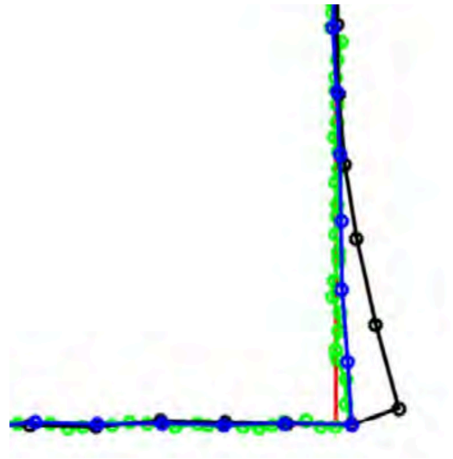


Figura 2: Ejemplo de Predicción con Colaboración.

El bloque denominado Composer en la Figura 1 calcula el promedio de los pronósticos ponderados por sus varianzas según el siguiente cálculo [12]:

$$P = [P_1^{-1} + P_2^{-1}]^{-1} \quad (1)$$

$$\hat{x} = P [P_1^{-1} \hat{x}_1 + P_2^{-1} \hat{x}_2] \quad (2)$$

Donde  $P_i$  son las covarianzas individuales de las predicciones de cada sensor y  $\hat{x}_i$  son sus predicciones. Mientras que  $P$  y  $\hat{x}$  son los valores respectivos de la composición.

Para un diseño preliminar, debe tenerse en cuenta que las respuestas espontáneas ADS-B y las respuestas de interrogación SSR no están sincronizadas. Además, las respuestas ADS-B ocurren en lo que puede considerarse intervalos regulares, pero las respuestas SSR no ocurren en intervalos regulares debido al movimiento relativo de la aeronave en relación con el SSR. Otro aspecto a considerar es la validación de las respuestas ADS-B.

### 3. Conclusiones y Trabajos Futuros

Se ha propuesto un método, se ha presentado un ejemplo conceptual simple y se han mencionado una serie de consideraciones prácticas para un futuro diseño preliminar de una funcionalidad de colaboración ADS-B. Estas consideraciones sobre los compromisos de diseño permitirán mejorar la predicción que demanda el SSR de Modo S para las interrogaciones Roll-Call.

Deberá concretarse el diseño preliminar y evaluarse por simulación su desempeño en escenarios verosímiles que incluyan vuelos simulados en circuitos de espera (holding patterns) como los existentes en las cercanías de los aeropuertos [13]; y vuelos simulados dentro del denominado cono del silencio del SSR, donde la funcionalidad aquí presentada puede generar aportes significativos [14].

A posteriori, en la medida de lo posible, deberían implementarse pruebas sobre las instalaciones SSR y ADS-B de un sitio real, para relevar estadísticas que puedan verificar las mejoras efectivas aportadas por la funcionalidad.

### Referencias

1. ICAO (International Civil Aviation Organization). Manual on the Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems. En: Doc 9684 AN/951 (2004)
2. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration Specification: Mode Select Beacon System (Mode S) Sensor. En: FAA-E-2716 (1983)
3. Stevens, M.: *Secondary Surveillance Radar*. Artech House (1988)
4. ICAO (International Civil Aviation Organization). *Annex 10, Third Edition of Volume IV*. (2014)
5. ICAO (International Civil Aviation Organization). *Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter*. (2008)
6. RTCA: *Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services (TIS-B)*. En: RTCA DO-260B (2011)
7. Sun, J.: *The 1090 Megahertz Riddle: A Guide to Decoding Mode S and ADS-B Signals. 2nd Edition*. TU Delft OPEN Publishing (2021)
8. EUROCAE (The European Organisation for Civil Aviation Equipment): *Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System*. En: EUROCAE ED-129B. (2016)
9. McDewitt, A.J.: A Tracker for Monopulse SSR. En: IEE Colloquium on State Estimation in Aerospace And Tracking Applications (1989)
10. Welch, G., Bishop, G.: An Introduction to the Kalman Filter. In: TR 95-041, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill (2006)
11. Brookner, E.: *Tracking and Kalman Filtering Made Easy*, Wiley-Interscience. (1998)
12. Bar-Shalom, Y., Rong Li, X., Kirubakaran, T.: *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*, John Wiley & Sons, Inc. (2001)
13. FAA, Aeronautical Information Services: Aeronautical Chart Users Guide. En: [aenav.faa.gov/userguide/20220714/cug-complete.pdf](https://aenav.faa.gov/userguide/20220714/cug-complete.pdf) (2022)
14. Mariano, P., De Marco, P., Giacomini, C.: *Data Integrity Augmentation by ADS-B SSR Hybrid Techniques*. En: Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (2018)