

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 99 (2001)

Heft: 6

Artikel: Compléter la localisation par radar pour la sécurité aérienne

Autor: Halter, Cyril

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235792>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Compléter la localisation par radar pour la sécurité aérienne

La densité du trafic aérien passant au-dessus du territoire suisse ne cesse d'augmenter. Actuellement le contrôle des aéronefs est assuré par un système de radar qui atteint ses limites. Une détermination plus précise de la position des appareils en vol est nécessaire afin d'assurer la séparation du trafic aérien. En outre, les systèmes de navigation de bord ont évolué et la technologie actuelle permet de transmettre au sol la position établie à bord. C'est pourquoi, il devient utile de remettre à jour les systèmes de surveillance en vigueur. Dans le cadre de ce travail, l'erreur commise par le système radar a été estimée lors d'un vol expérimental. Partant de l'hypothèse que le système GPS différentiel (D-GPS) fournit des positions pouvant être considérées comme vraies, les résultats expérimentaux permettent de proposer un complément de l'information radar par GPS.

Die Luftverkehrsdichte über dem Schweizer Territorium nimmt immer mehr zu. Heute ist die Kontrolle der Flugzeuge durch ein Radarsystem gewährleistet, das seine Grenzen erreicht. Eine genauere Positionsbestimmung der sich in der Luft befindlichen Flugzeuge ist nötig, um die Trennung des Luftverkehrs zu garantieren. Ausserdem sind die Bordnavigationssysteme weiter entwickelt worden, und die heutige Technologie erlaubt es, die an Bord bestimmte Position an den Boden zu übermitteln. Deshalb wird es nötig, die heute benutzten Überwachungssysteme zu erneuern. Im Rahmen dieser Arbeit ist der durch das Radarsystem erzeugte Fehler anlässlich eines Versuchsfluges abgeschätzt worden. Ausgehend von der Hypothese, dass das Differenzial-GPS-System (D-GPS) Positionen liefert, die als echt angenommen werden können, geben die Versuchsergebnisse eine Ergänzung der Radarinformation durch GPS.

La densità del traffico aereo sul territorio svizzero continua ad aumentare. Attualmente il controllo degli aeromobili è garantito da un sistema radar che è al limite dell'operatività. Si rende necessaria una determinazione più precisa di posizionamento degli apparecchi in volo per garantire la separazione del traffico aereo. Inoltre, i sistemi di navigazione di bordo si sono evoluti e la tecnologia attuale permette di trasmettere al suolo la posizione stabilita a bordo. Di conseguenza, bisogna aggiornare i sistemi di sorveglianza vigenti. Nell'ambito di questo lavoro, l'errore registrato dai sistemi di sorveglianza è stimato durante un volo sperimentale. Partendo dall'ipotesi che il sistema GPS differenziale (D-GPS) fornisca delle posizioni che possono essere considerate valide, i risultati sperimentali permettono di proporre un complemento d'informazione radar tramite GPS.

C. Halter

Contexte général

La sécurité aérienne s'est considérablement développée lorsque le transport aérien a dû répondre à des exigences de rendement croissantes. Le système radar possède des limites, telles que le nombre d'avions pouvant être suivis par le tra-

queur radar, de même que le niveau de précision à atteindre. Ces limites atteintes, lors des jours de grande densité de trafic aérien, génèrent des retards fort coûteux pour les compagnies aériennes. Il est donc nécessaire d'apporter des solutions à ce problème à l'aide de techniques plus récentes.

Le développement des instruments de navigation embarqués à bord des avions est tel que l'avion est capable de déterminer sa position avec une précision supérieure à celle fournie par les systèmes radars au

sol. Différents paramètres de vol tels que la position, la vitesse ou l'altitude peuvent être transmis de façon autonome au sol et aux autres aéronefs en vol par liaison radio.

La surveillance aérienne basée sur le radar

Le trafic aérien contrôlé doit être localisé afin de pouvoir être séparé par les aigilleurs du ciel. Il faut distinguer le trafic régional, c'est-à-dire les avions en approche et en phase de décollage, et le trafic qui transite par le territoire suisse. Nous ne nous intéressons ici qu'au deuxième.

Il existe deux types de radars; le radar primaire et le radar secondaire. Le principe du radar primaire repose sur l'émission d'ondes impulsionnelles en partie réfléchies par la surface des aéronefs vers le radar. Ce système permet de déterminer la position des avions en distance et azimuth. Il s'agit d'un capteur de surveillance dite «indépendante» car il n'exige aucune collaboration de la part des avions et les détecte à leur insu.

Le radar secondaire de surveillance (SSR) interroge les avions séparément, ces derniers doivent disposer à bord d'un émetteur-récepteur appelé le transpondeur. Le SSR offre l'avantage majeur de pouvoir distinguer deux avions similaires. Il permet également d'obtenir une information plus précise de l'altitude barométrique, mesurée à bord de l'aéronef.

De nos jours, le système de Multi Radar Tracking (MRT) utilisé pour le contrôle aérien comporte des radars secondaires [1]. La localisation d'un aéronef utilise trois radars pondérés entre eux avec un coefficient de 80 pour le plus important et 10 et 1 pour les deux autres. Cette pondération est attribuée par zone, c'est-à-dire un carré de 16 [nm] de côté. L'ensemble de ces carrés forme une grande mosaïque couvrant tout le territoire suisse. Les coefficients de pondération ont été attribués de manière fixe sur la base de l'expérience acquise par Swisscontrol. La grille ci-dessous représente le découpage du territoire et donne les coefficients des radars pris en compte pour chaque carré.

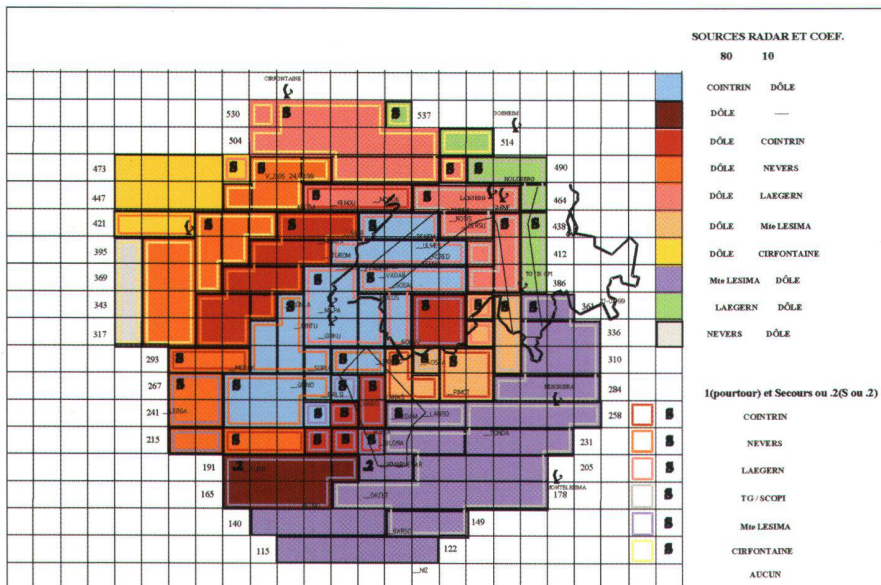


Fig. 1: Carte multi-radar ACC du 5.5.2000 fournie par Swisscontrol.

La collecte des mesures en vol

En vue d'estimer l'erreur du système radar, un vol expérimental a été organisé avec un avion privé. Le parcours choisi est représentatif d'un vol ordinaire dans la région de Lausanne, Gruyères et Yverdon. L'avion était équipé d'un récepteur GPS Leica 500 et les mesures de code et de phase ont été enregistrées chaque seconde. Au sol, un équipement semblable était installé sur un point dont les coordonnées sont connues. La position calculée ultérieurement en mode différentiel présente une erreur certainement inférieure à 5 mètres, ce qui permet de considérer la trajectoire ainsi obtenue comme vraie [4].

Pour permettre le suivi de l'avion par radar, le transpondeur de bord émettait son identité ainsi que son altitude codée. Swisscontrol a fourni les données de la localisation par radar en coordonnées planes dans la projection suisse [5].

Détermination de l'erreur du radar

On assimile la différence entre la position par GPS différentiel et la localisation ra-

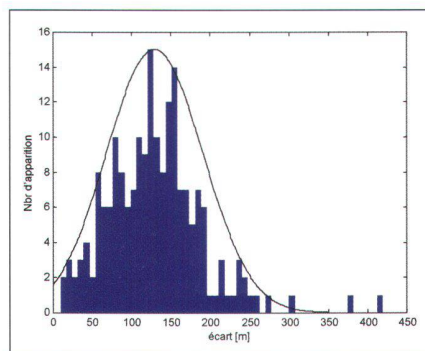


Fig. 2: Histogramme de fréquence d'apparition des écarts et courbe de Gauss correspondante.

dar à l'erreur de ce dernier. La valeur moyenne de l'écart obtenue expérimentalement est de 129 mètres, quant à l'écart-type il est de 61 mètres. Une meilleure représentation de ces résultats est fournie par l'histogramme suivant: On constate que les résultats présentent une répartition suivant la loi normale [6]. Ce qui permet de caractériser une surface d'erreur circulaire autour du point radar en fonction de la fiabilité. Sachant que dans le domaine de l'aviation les exigences quant à la fiabilité sont élevées, nous donnons l'exemple d'un pourcentage de confiance de 99 % qui définit un rayon de 271 mètres pour la zone de confiance.

Transmission des données au sol

Le système GPS surpassant largement la précision fournie par le système radar au sol, la position établie à bord de l'avion par le récepteur GPS embarqué devient une information précieuse comme complément à la localisation par radar des aéronefs pour la sécurité aérienne.

Le problème de la transmission des données de l'avion au sol et des avions entre eux, peut s'appuyer sur la technique de la surveillance dépendante automatique – mode diffusé (ADS-B). Il s'agit d'une émission spontanée de l'identité de l'aéronef, de son altitude et de sa position [7]. Afin d'appliquer cette technique, il faut recourir à la transmission par Mode S étendu, qui est une amélioration du système de radar secondaire. Ce que l'on peut conceptualiser de la manière suivante (fig.3).

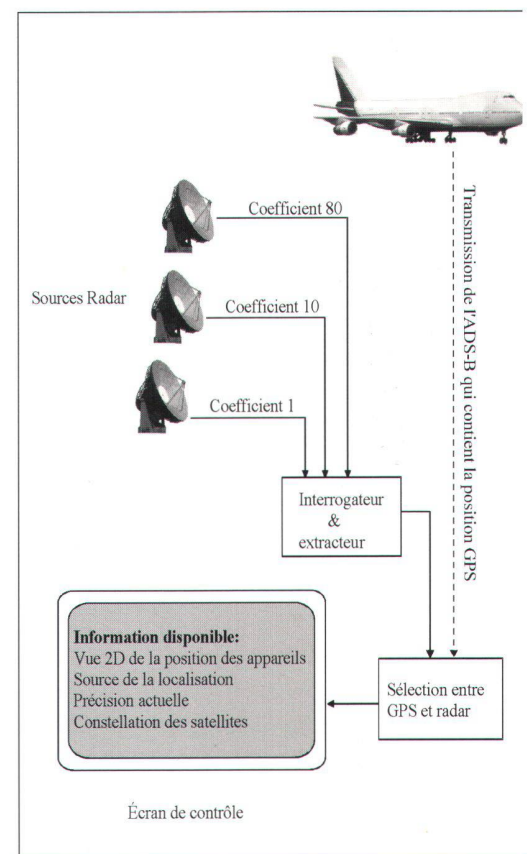


Fig. 3: Schéma de l'intégration de la position GPS.

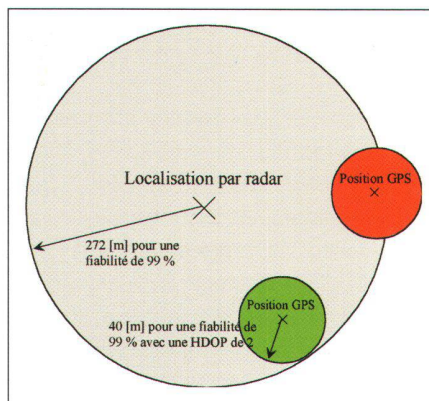


Fig. 4: Choix de la source de localisation.

Perspective d'introduire le GPS dans la sécurité aérienne

Nous ne nous intéressons qu'au traitement de la localisation dans le plan. Le problème de la séparation verticale a été résolu par un codage plus précis de l'altitude, à partir de l'altimètre, c'est pour-

quoi nous ne nous y sommes pas attardés. L'idée de base est d'intégrer la position établie par l'avion au système MRT, de sorte que les données de ce dernier soient utiles pour garantir la position GPS. Le choix s'établit sur un critère relativement simple utilisant les valeurs que nous avons déterminées dans le cadre de la fiabilité. Autour du point localisé par radar, nous définissons une zone circulaire dans laquelle l'avion doit se trouver avec une certaine probabilité (99% dans notre exemple). La position transmise depuis le GPS est également entourée d'une surface de fiabilité circulaire. La position GPS est acceptée si sa zone de fiabilité est contenue dans celle de la localisation par radar et elle est refusée si elle en sort partiellement.

Conclusion

Ce travail pratique a permis d'estimer l'erreur du système radar et de présenter une

proposition d'intégration du système GPS dans la surveillance aérienne. Ceci dans un but d'accroître la densité du trafic aérien tout en maintenant le niveau de sécurité.

Bibliographie:

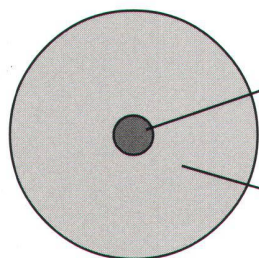
- [1] Michael C. Stevens, Secondary Surveillance Radar, Artech House cop., 1988.
- [2] Technique du radar classique, René Bentejac, 1992.
- [3] Understanding radar, Henry W. Cole, 1986.
- [4] La méthode GPS, H. Dupraz, EPFL, 2000.
- [5] Positionnement et cartographie conversion de coordonnées, L. Huguenin & P.-Y. Gilliéron, EPFL, 2000.
- [6] Introduction à la métrologie, G. Gremaud et R. Schaller, EPFL, septembre 1999.
- [7] ADS Training Course, EUROCONTROL Institute of Air Navigation Services, 2001.

Cyril Halter
Chemin des vignes 1A
CH-1299 Crans

eRTK - Die neue GPS-Technologie

Das bietet Ihnen eRTK:

- 36 mal grössere Abdeckung mit einer Referenzstation
- Höchste Präzision in Echtzeit (< 1cm)
- Kurze Initialisierungszeiten
- Zuverlässige Resultate
- Speziell konzipiert für GPS-Netze (z.B. AGNES, Swiss@t)



Arbeitsbereich mit herkömmlichen RTK-Methoden (5km Radius, 79km²)

Arbeitsbereich mit eRTK (30km Radius, 2828km²)

Rufen Sie uns an und lassen Sie sich unsere Geräte vorführen!



allnav • Obstgartenstrasse 7 • 8035 Zürich • Tel.: 01 363 41 37
allnav@allnav.com • www.allnav.com
Baden-Württemberg: 71522 Backnang • Tel.: 07191 734 411

