

Contacts et Annexes

Projet TS229 – Année 2021/2022

Guillaume Ferré, Romain Tajan et Malek Ellouze

Contacts

- Guillaume Ferré - guillaume.ferre@ims-bordeaux.fr
- Romain Tajan - romain.tajan@ims-bordeaux.fr
- Malek Ellouze - malek.ellouze@ims-bordeaux.fr

Annexe A Tableaux de Format Type Codes

TABLE 1 – Tableaux des valeurs du FTC pour $FTC \in [0, 8]$

<i>TYPE Code</i>	<i>Format</i>	<i>Horizontal protection limit (HPL)</i>	<i>95% Containment radius, μ and v, on horizontal and vertical position error</i>	<i>Altitude type (see §A.2.3.2.4)</i>	<i>NUC_p</i>
0	No position information			Barometric altitude or no altitude information	0
1	Identification (Category Set D)			Not applicable	
2	Identification (Category Set C)			Not applicable	
3	Identification (Category Set B)			Not applicable	
4	Identification (Category Set A)			Not applicable	
5	Surface position	HPL < 7.5 m	$\mu < 3$ m	No altitude information	9
6	Surface position	HPL < 25 m	$3 \text{ m} \leq \mu < 10$ m	No altitude information	8
7	Surface position	HPL < 185.2 m (0.1 NM)	$10 \text{ m} \leq \mu < 92.6$ m (0.05 NM)	No altitude information	7
8	Surface position	HPL > 185.2 m (0.1 NM)	(0.05 NM) $92.6 \text{ m} \leq \mu$	No altitude information	6

TABLE 2 – Tableaux des valeurs du FTC pour $\text{FTC} \in [9, 18]$

9	Airborne position	$\text{HPL} < 7.5 \text{ m}$	$\mu < 3 \text{ m}$	Barometric altitude	9
10	Airborne position	$7.5 \text{ m} \leq \text{HPL} < 25 \text{ m}$	$3 \text{ m} \leq \mu < 10 \text{ m}$	Barometric altitude	8
11	Airborne position	$25 \text{ m} \leq \text{HPL} < 185.2 \text{ m}$ (0.1 NM)	$10 \text{ m} \leq \mu < 92.6 \text{ m}$ (0.05 NM)	Barometric altitude	7
12	Airborne position	$185.2 \text{ m (0.1 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 370.4 \text{ m (0.2 NM)}$	$92.6 \text{ m (0.05 NM)} \leq \mu$ $< 185.2 \text{ m (0.1 NM)}$	Barometric altitude	6
13	Airborne position	$370.4 \text{ m (0.2 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 926 \text{ m (0.5 NM)}$	$185.2 \text{ m (0.1 NM)} \leq \mu$ $< 463 \text{ m (0.25 NM)}$	Barometric altitude	5
14	Airborne position	$926 \text{ m (0.5 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 1\,852 \text{ m (1.0 NM)}$	$463 \text{ m (0.25 NM)} \leq \mu$ $< 926 \text{ m (0.5 NM)}$	Barometric altitude	4
15	Airborne position	$1\,852 \text{ m (1.0 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 3\,704 \text{ m (2.0 NM)}$	$926 \text{ m (0.5 NM)} \leq \mu$ $< 1\,852 \text{ m (1.0 NM)}$	Barometric altitude	3
16	Airborne position	$3\,704 \text{ km (2.0 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 18.52 \text{ km (10 NM)}$	$1\,852 \text{ km (1.0 NM)} \leq \mu$ $< 9.26 \text{ km (5.0 NM)}$	Barometric altitude	2
17	Airborne position	$18.52 \text{ km (10 NM)} \leq \text{HPL}$ $< 37.04 \text{ km (20 NM)}$	$9.26 \text{ km (5.0 NM)} \leq \mu$ $< 18.52 \text{ km (10.0 NM)}$	Barometric altitude	1
18	Airborne position	$\text{HPL} \geq 37.04 \text{ km (20 NM)}$	$18.52 \text{ km (10.0 NM)} \leq \mu$	Barometric altitude	0

TABLE 3 – Tableaux des valeurs du FTC pour $\text{FTC} \in [19, 31]$

19	Airborne velocity	Not applicable	Not applicable	Difference between "Barometric altitude" and "GNSS height (HAE) or GNSS altitude (MSL)" (2.3.5.7)	N/A
20	Airborne position	$\text{HPL} < 7.5 \text{ m}$	$\mu < 3 \text{ m}$ and $v < 4 \text{ m}$	GNSS height (HAE)	9
21	Airborne position	$\text{HPL} < 25 \text{ m}$	$\mu < 10 \text{ m}$ and $v < 15 \text{ m}$	GNSS height (HAE)	8
22	Airborne position	$\text{HPL} \geq 25 \text{ m}$	$\mu > 10 \text{ m}$ or $v \geq 15 \text{ m}$	GNSS height (HAE)	0
23	Reserved for test purposes				
24	Reserved for surface system status				
25 – 27	Reserved				
28	Extended squitter aircraft emergency priority status				
29	Reserved				
30	Reserved				
31	Aircraft operational status				

Annexe B Tableaux de structure des messages

TABLE 4 – Composition du message de position au sol

Index binaire	Champs
1	MSB
⋮	Format Type Code
5	LSB
6	MSB
⋮	Indicateur de mouvement
12	LSB
13	Statut
14	MSB
⋮	Latitude encodée avec CPR
20	LSB
21	Indicateur de temps UTC
22	Indicateur de format CPR
23	MSB
⋮	Latitude encodée avec CPR
39	LSB
40	MSB
⋮	Longitude encodée avec CPR
56	LSB

Annexe C Encodage et décodage des altitudes, latitudes et longitudes

Décodage de l'altitude

L'altitude est encodée dans un mot \mathbf{b}_a de 12 bits. Le 8^{me} bits de \mathbf{b}_a étant inutile dans notre cas, il ne doit pas être considéré. Le registre obtenu finalement est le suivant

$$\mathbf{r}_a = [b_a^1, b_a^2, b_a^3, b_a^4, b_a^5, b_a^6, b_a^7, b_a^9, b_a^{10}, b_a^{11}, b_a^{12}].$$

On notera r_a la valeur entière non signée contenue de ce registre en considérant b_a^1 comme bit de poids fort. La valeur de l'altitude *alt* exprimée *en pieds* est obtenue comme

$$\text{alt} = 25r_a - 1000. \quad (1)$$

Décodage de la longitude et de la latitude

L'encodage des latitudes et longitudes dans les trames ADS-B est effectué suivant un format appelé Compact Position Reporting (CPR). Ce format permet d'encoder des positions précises sur peu de bits (34 bits seulement par trames de position en vol). L'encodage CPR admet intrinsèquement une imprécision de 180 nœuds nautiques par trames. Afin de décoder avec une plus grande précision les longitudes et latitudes, il est nécessaire d'avoir

- soit deux trames consécutives ayant des bits *indicateurs de format CPR* différents,
- soit une position de référence de l'appareil à moins de 180 nœuds nautiques.

Nous ne considérerons dans un premier temps que le second cas. Ce cas est justifié si on fait l'hypothèse que l'appareil détecté était proche de la position de l'antenne de réception.

Dans les messages de position en vol, la latitude et la longitude de l'appareil sont encodées sur des mots de 17 bits. Ces registres sont notés $\mathbf{r}_{lon} = [r_{lon}^1, \dots, r_{lon}^{17}]$ et $\mathbf{r}_{lat} = [r_{lat}^1, \dots, r_{lat}^{17}]$. Aussi, nous noterons LAT et LON les valeurs entières contenues respectivement dans \mathbf{r}_{lon} et \mathbf{r}_{lat} avec r_{lon}^1 et r_{lat}^1 comme bits de poids fort.

Nous commencerons par le calcul de la **latitude**. Ce calcul comporte trois étapes.

1) calcul de la grandeur D_{lat_i} :

$$D_{lat_i} = \frac{360^\circ}{4N_Z - i} \quad (2)$$

où $N_Z = 15$ est le nombre de latitudes géographiques considérées entre l'équateur et un pôle et i est le bit *indicateur de format CPR*.

2) Calcul de j :

$$j = \left\lfloor \frac{lat_{ref}}{D_{lat_i}} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lat_{ref}, D_{lat_i})}{D_{lat_i}} - \frac{\text{LAT}}{2^{N_b}} \right\rfloor \quad (3)$$

où $N_b = 17$ est le nombre de bits constituant le registre de latitude $\lfloor x \rfloor$ est la fonction renvoyant le plus petit entier k tel que $k \leq x$ et $\text{MOD}(x, y) = x - y \left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$.

3) Calcul de la latitude lat :

$$lat = D_{lat_i} \left(j + \frac{\text{LAT}}{2^{N_b}} \right) \quad (4)$$

Nous finissons par le calcul de la **longitude**. Ce calcul comporte aussi trois étapes.

1) calcul de la grandeur D_{lon_i} :

$$D_{lon_i} = \begin{cases} \frac{360^\circ}{N_L(lat)-i} & \text{si } N_L(lat) - i > 0 \\ 360^\circ & \text{si } N_L(lat) - i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

où i est le bit *indicateur de format CPR*, lat est la latitude calculée précédemment et $N_L(x)$ est la fonction suivante

$$N_L(x) = \left\lfloor 2\pi \left[\arccos \left(1 - \frac{1 - \cos \left(\frac{\pi}{2N_Z} \right)}{\cos^2 \left(\frac{\pi}{180^\circ} |x| \right)} \right) \right]^{-1} \right\rfloor \quad (6)$$

pour la plupart des x à l'exception des points suivants :

$$\begin{aligned} N_L(0) &= 59 \\ N_L(87) &= 2 \\ N_L(87) &= 2 \\ N_L(x) &= 1 \text{ si } |x| > 87. \end{aligned}$$

Afin de garantir une implémentation efficace pour le temps réel, la fonction $N_L(x)$ est en général tabulée. Pour vous permettre de gagner du temps, cette fonction est fournie dans l'archive `projet_adsb.zip` et se nomme `cprNL`.

2) Calcul de m :

$$m = \left\lfloor \frac{lon_{ref}}{D_{lon_i}} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lon_{ref}, D_{lon_i})}{D_{lon_i}} - \frac{\text{LON}}{2^{N_b}} \right\rfloor \quad (7)$$

où $N_b = 17$ est le nombre de bits constituant le registre de latitude $\lfloor x \rfloor$ est la fonction renvoyant le plus petit entier k tel que $k \leq x$ et $\text{MOD}(x, y) = x - y \left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$.

3) Calcul de la longitude lon :

$$lon = D_{lon_i} \left(m + \frac{\text{LON}}{2^{N_b}} \right) \quad (8)$$

Annexe D Tableaux des caractères

TABLE 5 – Tableaux des caractères

				b_6	0	0	1	1
				b_5	0	1	0	1
b_4	b_3	b_2	b_1					
0	0	0	0			P	SP	0
0	0	0	1		A	Q		1
0	0	1	0		B	R		2
0	0	1	1		C	S		3
0	1	0	0		D	T		4
0	1	0	1		E	U		5
0	1	1	0		F	V		6
0	1	1	1		G	W		7
1	0	0	0		H	X		8
1	0	0	1		I	Y		9
1	0	1	0		J	Z		
1	0	1	1		K			
1	1	0	0		L			
1	1	0	1		M			
1	1	1	0		N			
1	1	1	1		O			