

引用格式:孙毅刚,梅傲雪,崔海青. ARINC429 总线发送任务数据防冲突算法研究 [J]. 微电子学与计算机,2019,36(4):93-98. [SUN Y G, MEI A X, CUI H Q. Research on anti-collision algorithm for data of transmission tasks on ARINC429 bus [J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(4):93-98.]

ARINC429 总线发送任务数据防冲突算法研究

孙毅刚,梅傲雪,崔海青

(中国民航大学 电子信息与自动化学院,天津 300300)

摘 要: 在航空电子系统测试与仿真验证过程中,针对利用一条 ARINC429 总线进行多个 Label 号的周期性定时发送任务时,可能导致由不同数据字组成的发送任务在时间轴上产生时间冲突的问题. 本文首先对在一根 ARINC429 总线上发送的任务信号之间,可能造成的时间冲突问题的时间区间展开研究,提出一种基于最小公倍周期与最大公约时间片的任务优化规划方法. 通过对一条 ARINC429 总线上待发送的任务信号进行规划,解决了 ARINC429 在发送多任务时的单总线冲突问题的同时提高了总线利用率.

关键词: 航空电子系统;仿真验证;最小公倍周期;ARINC429;任务规划;总线冲突;

中图分类号: V243.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2019)04-0093-06

Research on Anti-collision Algorithm for Data of Transmission Tasks on ARINC429 Bus

SUN Yi-gang, MEI Ao-xue, CUI Hai-qing

(College of Electronic Information and Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In the process of testing, simulating and verifying the avionics system, the problem that different transmission tasks which consist of diverse data and words cause time collisions on the time axis may happen when an ARINC429 bus is used to carry out the periodic and time transmission tasks of multiple Labels. Firstly, in this paper, a research concerning the time interval of the time collisions which might be caused among the task signals transmitted on an ARINC429 bus was conducted. Secondly, a task planning method based on the least common multiple period and the time slice with the greatest common divisor was proposed. Lastly, by carrying out the planning of the task signals to be transmitted on an ARINC429 bus, the single-bus collisions in the transmission of multiple tasks on an ARINC429 bus were solved and the utilization rate of the bus was improved at the same time.

Key words: Avionics system; Simulation; Least common period; ARINC429; task planning; bus collision

1 引言

航空电子系统作为飞机最重要的子系统之一,在飞机的设计研发阶段,对于航电系统的仿真验证环节就显得尤为关键^[1-2]. 由于不同数据信号的发送周期等时间特性不同,当利用一条 ARINC429 总线进行多个定时发送任务时,在发送数据的时间轴上,

容易造成在某一时间段内 ARINC429 总线需要同时发送多组数据信号的现象,

由此便造成了数据信号间在发送时间上相互冲突的问题. 针对这一问题,有必要研究一种 ARINC429 总线传输任务数据防冲突算法,用以解决数据信号间的时间冲突问题,并能够在一定程度上提高数据传输时的总线利用率.

2 ARINC429 总线时间特性

ARINC429 总线采用异步通信方式,以 12.5 KHz 和 100 KHz 两种速率进行数据传输,ARINC429 总线协议规定了不同 Label 号数据字具有不同的时间特性^[1-2],摘选了部分总线协议附件中的数据标准,如表 1 所示.

表 1 ARINC429 总线协议数据标准^[3]

Label	Eqpt ID (Hex)	Resolu- tion	Min Transit Interval (msec)	Max Transit Interval (msec)
102	029	1.0	100	200
222	115	0.1	50	50
242	03B	0.002	150	250
362	115	1.0	50	50

观察表 1 中数据,每种数据字均有其最大发送间隔与最小发送间隔.其中若该数据字的最大发送间隔等于最小发送间隔,则该数据需按照固定的时间间隔周期发送,称其为固定发送周期数据字,如表 1 中 Label 号为 222 的数据字;若该数据字的最大发送间隔不等于最小发送间隔,则说明总线协议规定了该数据字在 ARINC429 总线上周期性发送时可有一定的时间抖动,即该数据字的发送间隔可以是最小发送间隔到最大发送间隔的任意值,这种数据字称其为可选发送周期数据字,如表 1 中 Label 号为 102 与 242 的数据字.

3 ARINC429 总线传输任务数据时间冲突问题

在一条 ARINC429 总线上发送一组任务信号,该任务信号由 Label1 与 Label2 两种不同数据字构成的数字信号组成,假定其发送周期 T 分别为 30 ms、25 ms.数据字在总线上从发送端开始发送到发送完成所需的时间称为数据字传输时间,用 Δt 表示.根据 ARINC429 总线协议规定通用数据字字长均为 32 位^[4],加上 4 位零电平的静寂间隔时间,共 36 位字长,当在低速率即 12.5 KHz 条件下发送时, $\Delta t=2.88\text{ ms}$ ^[5].

首先,假定待发送的数据信号 1 由一个 Label1 组成,待发送数据信号 2 由两个连续发送的 Label2 组成(429 总线在进行数据传输时,会出现连续发送多个同一数据字的情况),则其传输时间分别为 $\Delta t_1=2.88\text{ ms}$ 、 $\Delta t_2=5.76\text{ ms}$.现规定 ARINC429 总线发送端先发送数据信号 1,即 0 时刻发送,待发送完成后,即 Δt 时刻,发送数据信号 2.这样发

送了一组数字信号后,发送端按照假定好的 Label1、Label2 两种数据字的发送周期 T 进行周期性循环发送.不难推导出在 ARINC429 总线发送端第 n 次发送 Label1 与 Label2 时的具体时刻 t_1 、 t_2 的通式分别是:

$$t_1 = 0 + (n_1 - 1)T_1 \qquad n_1 \geqslant 1 \quad (1)$$

$$t_2 = \Delta t_1 + (n_2 - 1)T_2 \qquad n_2 \geqslant 1 \quad (2)$$

Label1 与 Label2 发送完成的具体时刻 * t_1 、* t_2 的通式分别是:

$$*t_1 = 0 + (n_1 - 1)T_1 + \Delta t_1 \qquad n_1 \geqslant 1 \quad (3)$$

$$*t_2 = \Delta t_1 + (n_2 - 1)T_2 + \Delta t_2 \qquad n_2 \geqslant 1 \quad (4)$$

即可求得发送端第 n 次发送 Label1 与 Label2 时的时间段集合 s_1 、 s_2 分别为:

$$s_1 = (t_1, *t_1)$$

$$s_2 = (t_2, *t_2)$$

将已知的 $T_1=30\text{ ms}$ 、 $T_2=25\text{ ms}$ 、 $\Delta t_1=2.88\text{ ms}$ 、 $\Delta t_2=5.76\text{ ms}$ 带入其中,计算出各自在 ARINC429 总线上发送过程中的时间段.如表 2 所示.

通过观察结果可以得出,在无限延长的时间轴上,总会出现两种时间特性不同的数据字在从发送端发送到发送完成的时间段内有时间段相互重叠的部分(表中加粗时间段有相互重叠部分).利用区间交集算法,即可求出两种数据字在每次发生重叠时间段时,各自的发送次数 n_1 、 n_2 的值,如表 3 所示.

表 2 数据信号 1 与数据信号 2 发送时间段

发送次数	数据信号 1	数据信号 2
1	(0,2.88)	(2.88,8.64)
2	(30,32.88)	(27.88,33.64)
3	(60,62.88)	(52.88,58.64)
4	(90,92.88)	(77.88,83.64)
5	(120,122.88)	(102.88,108.64)
6	(150,152.88)	(127.88,133.64)
7	(180,182.88)	(152.88,158.64)
8	(210,212.88)	(177.88,183.64)

表 3 每次发生时间重叠时 n_1 与 n_2 值

发生重叠 次数	1	2	3	4		n
n_1	2	7	12	17		$5n-3$
n_2	2	8	14	20		$6n-4$

从而可以分析得出在无限延长的时间轴上,发送端若周期性循环发送两种数据字,由于数据字传

输时间 Δt 的存在,时间轴上总会出现冲突的时间段.如图 1 所示.

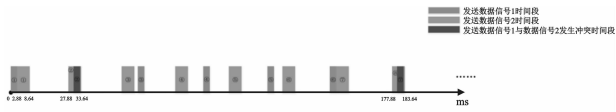


图 1 发送数据信号 1、2 所占用的时间段

观察图 1 及参照表 3 中的发生时间段重叠时两种数据信号的发送次数可归纳得出结论:当利用一根 ARINC429 总线周期性循环发送由例如如上所述 Label1 与 Label2 两种具有不同时间特性的数据字组成数字信号时,总会出现两种数据字发生时间冲突的时间段(即图 1 中红色部分),由此产生的问题即为 ARINC429 总线传输任务数据的时间冲突问题.

4 ARINC429 总线传输任务数据防冲突算法

由于待发送的不同类型数据字具有不同的时间特性,数据字按时间特性划分可分为:固定发送周期数据字、可选发送周期数据字^[6].从而可以组成 3 种不同类型的数据信号:固定发送周期与固定发送周期组合、固定发送周期与可选发送周期组合、可选发送周期与可选发送周期组合.

4.1 发送数据字时间冲突区间求解

当利用 ARINC429 总线发送一个数据信号任务,该数据信号是由若干个数据字组成,数据字的种类有固定发送周期数据字和可选发送周期数据字.

假设要发送的数据信号由一个固定发送周期数据字 Label1 和一个可选发送周期数据字 Label2 组成,固定发送周期数据字的最小发送周期与最大发送周期均为 30 ms,可选发送周期数据字的最小发送周期与最大发送周期分别为 25 ms、100 ms.为保证 ARINC429 总线的传输效率,若取非固定发送周期数据字的发送周期最小值为 25 ms,两种数据字的传输时间分别为 $\Delta t_1 = 2.88$ ms、 $\Delta t_2 = 5.76$ ms,即构成了与本文第三部分相同的传输数据的时间冲突问题.

观察图 1 所示的发送过程中数据信号 1 与数据信号 2 所占用的时间段,发生冲突部分时间间隔相同均为 2.88 ms,根据表 3 中的通式,可计算得出在每次发生冲突时,发送端发送数据信号 1

与数据信号 2 的具体次数 n_1 、 n_2 ,将其分别带入到式(1)、(2)、(3)、(4)中,得到发生冲突当次数据信号 1 与数据信号 2 发送与发送完成的具体时刻,取时间段集合 s_1 、 s_2 ,取二者交集即为冲突的时间段,如表 4 所示.

表 4 发生时间冲突时 s_1 、 s_2 及其交集

发生冲突次数	S_1	S_2	$S_1 \cap S_2$
1	(30, 32.88)	(27.88, 33.64)	(30, 32.88)
2	(180, 182.88)	(177.88, 183.64)	(180, 182.88)
3	(330, 332.88)	(327.88, 333.64)	(330, 332.88)
.....			
n	$((n_1-1)T_1, (n_1-1)T_1+\Delta t_1)$	$(\Delta t_1+(n_2-1)T_2, \Delta t_1+(n_2-1)T_2+\Delta t_2)$	$((n_1-1)T_1, (n_1-1)T_1+\Delta t_1)$

观察表 4,可得时间冲突呈周期形式出现,其周期大小即为两数据信号发送周期值的最小公倍数 150 ms,即 $T = [T_1, T_2]$,取 Δt_1 与 Δt_2 最小公倍数,即 $\Delta t = [\Delta t_1, \Delta t_2] = 5.76$.已知表 2 通式中 $n_1 = 5n - 3$, $n_2 = 6n - 4$,进而可推算得表 2 中 s_1 、 s_2 的通式为:

$$s_1 = \left(\left(\frac{T}{T_1}n - \frac{T}{T_1} + \frac{\Delta t}{\Delta t_1} - 1 \right) T_1, \left(\frac{T}{T_1}n - \frac{T}{T_1} + \frac{\Delta t}{\Delta t_1} - 1 \right) T_1 + \Delta t_1 \right) \quad (5)$$

$$s_2 = \left(\Delta t_1 + \left(\frac{T}{T_2}n - \frac{T}{T_2} + \frac{\Delta t}{\Delta t_2} - 1 \right) T_2, \Delta t_1 + \left(\frac{T}{T_2}n - \frac{T}{T_2} + \frac{\Delta t}{\Delta t_2} - 1 \right) T_2 + \Delta t_2 \right) \quad (6)$$

从而得通式:

$$s_1 = \left(\left(\frac{[T_1, T_2]}{T_1}(n-1) + \frac{[\Delta t_1, \Delta t_2]}{\Delta t_1} - 1 \right) T_1, \left(\frac{[T_1, T_2]}{T_1}(n-1) + \frac{[\Delta t_1, \Delta t_2]}{\Delta t_1} - 1 \right) T_1 + \Delta t_1 \right) \quad (7)$$

$$s_2 = \left(\Delta t_1 + \left(\frac{[T_1, T_2]}{T_2}(n-1) + \frac{[\Delta t_1, \Delta t_2]}{\Delta t_2} - 1 \right) T_2, \Delta t_1 + \left(\frac{[T_1, T_2]}{T_2}(n-1) + \frac{[\Delta t_1, \Delta t_2]}{\Delta t_2} - 1 \right) T_2 + \Delta t_2 \right) \quad (8)$$

综上,通过带入不同组数据字时间特性值发送周期 T 与传输时间 Δt ,通过交集算法,即可求解得

在无限长的时间轴上,可能造成时间冲突的时间段.

4.2 发送数据字规划算法

由不同数据字种类不同其时间特性不同,可将数据字分为可选发送周期数据字与固定发送周期数据字,从而组成的发送任务中的数据信号即可分为以下几种:

- (1)固定发送周期与可选发送周期数据字组合.
- (2)两种可选发送周期数据字的组合.
- (3)两种固定发送周期数据字的组合.

通过上述,在无限长的时间轴上对发送数据字时间冲突的求解,本文主要对以下两类数据信号组合进行防冲突优化算法研究:

- (1)固定发送周期与可选发送周期数据字组合的数据信号.
- (2)两种固定发送周期数据字组合而成的数据信号.

而可选发送周期与可选发送周期数据字组合而成的数据信号的优化算法与固定发送周期与可选发送周期数据字组合而成的数据信号的优化算法近似,只需将前者可选发送周期取定为一个固定周期即可,进而完成固定发送周期与可选发送周期的优化算法规划.

4.2.1 固定发送周期与非固定发送周期数据字组合的数据信号规划算法

首先研究固定发送周期与可选发送周期数据字组合的数据信号防冲突优化算法. 仍以上文的 Label1 与 Label2 组成的数据信号为例. 根据 4.1 发送数据字时间冲突区间的求解,已知两种数据字在时间上的冲突呈周期出现,且周期大小为两数据字发送周期的最小公倍数,即 $T=[T_1, T_2]$. 根据式(7)、(8),进行数学推算,可知若存在两种数据字的发送周期 T_1 、 T_2 ,其数值大小呈倍数关系,即保证最小公倍周期 T 等于 T_1 或 T_2 中的一个值,就存在一种规划方法可以避免在无限长的时间轴上数据字间的时间冲突问题.

取固定发送周期数据字 $T_1=30\text{ ms}$, $\Delta t_1=2.88\text{ ms}$ 不变,可选发送周期数据字发送周期 T_2 取 25 ms 到 100 ms 中的 60 ms , $\Delta t_2=5.76\text{ ms}$. 取其最大公约数 $T=(T_1, T_2)=30\text{ ms}$,将无限延长的时间轴以 30 ms 为一个单位长度划分为 n 个时间片区间,一个最小公倍周期等于两个时间片区间. 在第一个时间片区间内,顺序发送数据信号 1 与数据信号 2,进

而对两种数据字进行周期性发送,两种数据字的发送情况可在时间轴上表示出,如图 2 所示.

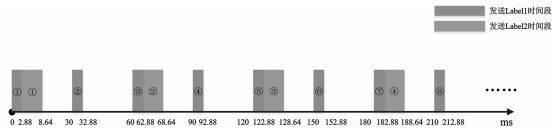


图 2 发送数据信号 1、2 所占用的时间段

从图 2 中可明显观察得出,对两种数据信号 1 与数据信号 2 进行依次周期性循环发送时,在无限延长的时间轴上,两信号不会在发送时间上产生相互冲突的现象. 这种对数据字的规划方法即为最小公倍周期与最大公约时间片规划方法.

同理,该规划方法可适用于 ARINC429 总线的多任务数据信号发送过程中. 若待发送任务由两个或以上数据信号组成,且数据信号由固定发送周期与可选发送周期数据字组合或可选发送周期与可选发送周期数据字组合,如果满足条件:

- (1)数据信号的发送周期之间呈倍数关系,即存在最大公约数. 即存在 $T=(T_1, T_2, T_3, \dots, T_n)$ 且 $T \neq 1\text{ ms}$.
- (3)数据信号在总线上的传输时间之和小于该最大公约数. 即:

$$\Delta t_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \leq T$$

即可采用上述规划方法规划数据字,避免在无限延长的时间轴上,数据字在发送时间上相互冲突的现象.

4.2.2 固定发送周期与固定发送周期数据字组合的数据信号规划算法

固定发送周期数据字在发送周期上有着严格的时间要求,在 ARINC429 总线上发送由固定发送周期数据字组成的数据信号时,不能通过改变其时间特性来进行规划.

首先,将由固定发送周期数据字组成的数据信号分为两类:

- (1)数据信号的发送周期有最大公约数.
- (2)数据信号的发送周期没有最大公约数.

若固定发送周期数据信号的发送周期间存在最大公约数,如 $T_1=30\text{ ms}$ 、 $T_2=50\text{ ms}$,其二者最大公约时间片为 10 ms ,假设二者均由一个固定发送周期数据字组成,传输过程时间为 $\Delta t=2.88\text{ ms}$. 即可用最大公约时间片的规划方法发送. 这种规划方

法存在容量限制,需保证传输过程时间总和:

$$\Delta t_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \leq 10 \text{ ms}$$

一般情况下 $\Delta t = 2.88 \text{ ms}$,即对传输数据信号的容量限制为 $n \leq 3$.

若固定发送周期数据信号的发送周期间不存在最大公约数,即其最大公约数为 1,则 ARINC429 总线仅以 12.5 KHz 的低速率发送数据信号时,最小发送过程时间 $\Delta t = 2.88 \text{ ms}$,大于 1 ms,从而不能通过规划最大公约时间片的方法进行发送.必要时可基于 ARINC429 总线发送数据的具体应用,缩短数据信号的最小发送过程时间,例如使用高速率 100 KHz 发送数据,数据信号的最小发送过程时间 $\Delta t = 0.36 \text{ ms}$,小于最大公约时间片 1 ms,从而扩大了传输数据信号的容量限制,使容量限制 $n \leq 2$.

5 实验验证与结果分析

针对利用一条 ARINC429 总线进行周期性发送任务信号,利用本文提出的基于最小公倍周期与最大公约时间片的任务优化规划方法进行实例验证.

拟发送一组任务信号:01000000、01110101、01110101、10011001. 则对用数据字 Label 分别为:100、165、165、231. 该任务信号数据字的时间特性如表 5 所示.

表 5 待发送数据字时间特性表

Label	Eqpt ID (Hex)	Resolu- tion	Min Transit Interval (msec)	Max Transit Interval (msec)
100	0BB	0.05	20	100
165	007	0.1	25	200
231	0AD	0.125	20	200

首先考虑总线发送效率,每种数据字均采用最小发送周期发送,则发送周期分别为 20 ms、25 ms、20 ms. 三种数据字的传输过程时间 Δt 分别为:2.88 ms、5.76 ms、2.88 ms. 基于 matlab 将上述待发送数据字的时间特性值作为基本单元,编写数字矩阵,依次发表 5 中数据字,生成结果如图 3 所示.

图中横坐标代表时间轴,纵坐标不同高度代表不同数据字. 设置一条虚拟竖线,令该竖线的 x 取值范围为 $[0,500]$,即令该虚拟竖线“扫”过图 3 所示区域. 当存在某一 x 值,使得该竖线同时穿过两条或

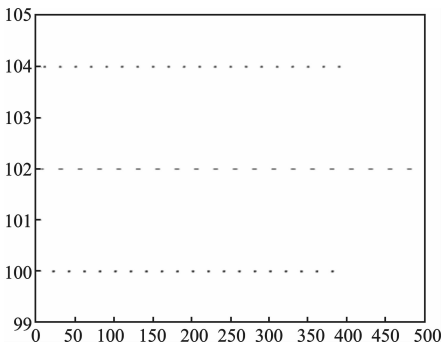


图 3 数据字占用总线段仿真图

以上数据字时间段时,即在该时刻,总线需同时发送两种或以上数据字,即产生了数据字间的时间冲突问题.

为了方便观察,将生成结果图局部放大,截取放大之后如图 4、5 所示.

从局部放大图中可以明显看出,三种数据字在一根 ARINC429 总线上进行周期性循环发送时,时间轴的同时刻存在着两种数据字同时发送的情况,即产生了数据字之间在发送时间上的冲突问题.

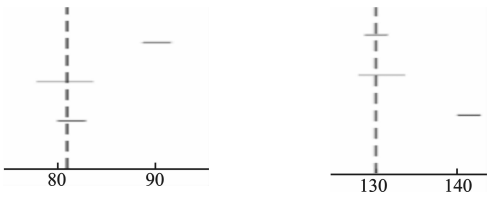


图 4、图 5 生成结果局部放大图

将上述数据字的时间特性带入最小公倍周期与最大公约时间片规划算法中,可得待发送数据字的发送时间如表 6 所示.

表 6 待发送数据字发送时间表

Label	Eqpt ID (Hex)	T	Δt
165	007	20	2.88
100	0BB	50	5.76
231	0AD	20	2.88

进而,以表 6 中数据字时间特性值作为基本单元,编写数字矩阵,进行依次发送,生成结果如图 6 所示.

图 6 中横坐标仍代表时间轴,纵坐标不同高度仍代表三种不同的数据字. 重复上述操作,得部分放大截图,如图 7、图 8 所示.

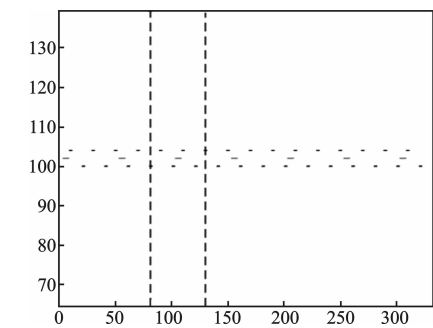


图 6 算法规划后仿真结果图

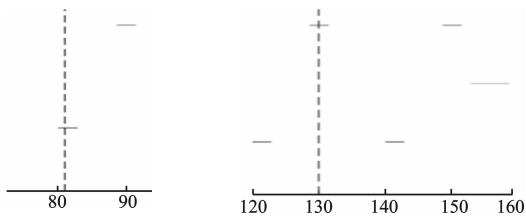


图 7、图 8 算法规划后生成结果局部放大图

实验结果表明,经最小公倍周期与最大公约时间片规划算法处理后,均按照规划好的固定“轨道”进行周期性循环发送,在时间轴上,避免了数据字之间在发送时间上的冲突问题.

参考文献:

[1] 刘成,王彤,李铮,等. 时间触发 AFDX 网络的设计和实时性分析[J]. 北京航空航天大学学报,2013,39(6): 728-733.

[2] 焦文喆,翟正军,王国庆. 时间触发 AFDX 调度策略设计与实时性分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(1):111-117.

[3] 王若文. 飞机 ARINC429 总线数据传输正确性评估与测试[D]. 天津:中国民航大学,2016.

[4] 刘晚春,李峭,何锋,等. 时间触发以太网同步及调度机制的研究[J]. 航空计算技术,2011,41(4):122-127.

[5] 卫保国,蔡伟,郝志浪,等. 航电 ARINC429 总线监测系统的设计与实现[J]. 电子设计工程,2014,22(3): 37-41.

[6] Aeronautical Radio Inc. ARINC specification 429 Digital Information Transfer System(DITS) [Z]. part 1-17. 2004.

[7] 刘晓剑. ARINC429 总线数据收发装置研究[D]. 西安:西北工业大学,2004.

[8] 刘静. 应用混合队列调度策略的 AFDX 实时性优化研究[J]. 计算机工程,2015,41(11):135-141.

作者简介:

孙毅刚 男,(1963-),博士,教授,硕士研究生导师. 研究方向为航空电子电气测试与适航验证.

梅傲雪(通讯作者) 男,(1994-),硕士研究生. 研究方向为民用飞机航电系统升级改装验证与安全性评估.
E-mail:185140826@qq. com.

崔海青 男,(1987-),博士研究生. 研究方向为机载电子设备故障诊断.