

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.07.024

引用格式:雷国志,王雷,王涛涛.民机 CNS 系统适航验证方法分析与实践[J].电讯技术,2014,54(7):996-1001.[LEI Guo-zhi,WANG Lei,WANG Tao-tao. Airworthiness Verification Method for CNS System of Civil Aircraft: Analysis and Practice[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(7):996-1001.]

民机 CNS 系统适航验证方法分析与实践*

雷国志^{1,**},王雷²,王涛涛³

(1. 中国西南电子技术研究所,成都 610036;2. 中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司,西安 710089;
3. 空军驻中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司军事代表室,西安 710089)

摘要:适航是我国民机 CNS(Communication, Navigation and Surveillance)系统发展的关键。以适航为目标,首先分析并确定了 CNS 系统验证的需求,然后通过分析适航标准提出了满足适航要求的 CNS 系统验证方法,即按照验证方法、验证级别、测试环境方案以及验证实施追溯过程为线进行验证分析。该方法还可适用于民机其他航电系统。

关键词:民用飞机;航空电子;适航;通信、导航、监视;验证方法

中图分类号:V24 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)07-0996-06

Airworthiness Verification Method for CNS System of Civil Aircraft: Analysis and Practice

LEI Guo-zhi¹, WANG Lei², WANG Tao-tao³

(1. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China;
2. AVIC Xi'an Aircraft Industry(Group) Company Ltd., Xi'an 710089, China;

3. Military Representative Office of Air Force in AVIC Xi'an Aircraft Industry(Group) Company Ltd., Xi'an 710089, China)

Abstract: Airworthiness is the key to the development of China's civil aircraft CNS(Communication, Navigation and Surveillance) system. This paper analyzes and determines airworthiness requirements and verification requirements of CNS system, and presents the verification method of CNS system according to airworthiness standards, that is performing verification by flowing the verification methods, verification levels, test bench and trace process. The method proposed in this paper can also be applied in other civil aircraft avionics systems.

Key words: civil aircraft; avionics system; airworthiness; CNS; verification method

1 引言

自 1927 年美国航空部颁布第一个适航证给 CA-3 以来,八十多年的实践证明适航是保证民机安全的有效手段。随着我国一系列民用客机的上马,满足适航性要求已经成为我国研制民用飞机的必要条件。机载 CNS(Communication, Navigation and Surveillance)系统作为民用飞机上包含航电设备最多

的系统也必须满足适航要求。机载 CNS 系统是国际民航组织(ICA0)新航行系统的重要组成部分^[1],为飞机提供地空双向语音/数字通信能力、终端区和航路上无线电导航能力和空中防撞/地形告警等监视能力^[2]。

民机 CNS 系统的发展历程和研制方法与侧重于任务性能的 CNI(Communication, Navigation and I-

* 收稿日期:2014-01-14;修回日期:2014-07-09 Received date:2014-01-14;Revised date:2014-07-09

** 通讯作者:leiguozhi_126@126.com Corresponding author:leiguozhi_126@126.com

dentification)系统有着明显的区别。通过近几十年 CNS 系统的研制,我们已经形成了一套完整的系统工程方法。但在民机 CNS 系统研制领域我们还处于起步阶段,目前国内部分研究机构已开始这一领域的工作;刘天华以民机航电系统中 CNS 系统架构进行了分析讨论^[3],焦健则比较了军机研制过程和民机研制过程的差异^[4],但关于 CNS 系统验证方面还没有相应的成果。本文尝试从 CNS 系统验证的角度进行分析讨论民机 CNS 系统的验证方法和实施过程。

2 总体需求

在提出 CNS 系统验证需求之前,有必要对 CNS 系统进行需求分析。

2.1 CNS 系统需求分析

首先,根据 CNS 系统的功能和操作要求,确定 CNS 系统必须满足的需求。CNS 系统需求一般来源于无线电规则制定组织(如 ITU、FCC、NTIA、IEEE&IEE)、设备详细设计要求(如 ARINC、RTCA、AEEC、飞机制造商)和国际航空组织(如 ICAO、FAA、CAA)。

然后,通过与飞机制造商进行联合设计确定 CNS 系统的功能架构。我们在确定 CNS 系统架构时,确定了 CNS 系统架构如图 1 所示。该架构一方面满足了 CCAR-91-R2 的要求^[5],另一方面由于其

开放性可以使飞机以非常低的代价过渡到新航行系统,因而成为国际上大型军民飞机广泛采用的主流架构。

最后,以确定的 CNS 系统架构为基础,开展初步方案设计和概要设计形成 CNS 系统的需求。本文主要对这些需求的验证方法进行讨论。

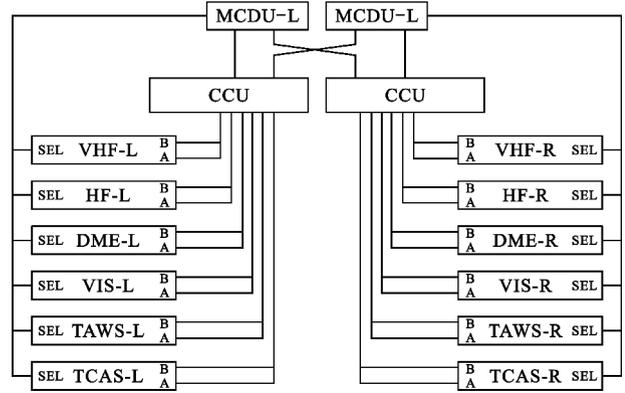


图 1 CNS 系统架构
Fig. 1 CNS system architecture

2.2 CNS 系统验证需求确定

根据 FAA AC25.1309-1B 的要求,对于 CNS 这类复杂系统应按照 ARP4754A^[6]中的 V 模型开展系统设计。该模型由自顶而下的设计过程和自底而上的验证过程组成,适航就是通过审定这两个过程中的数据文件来确定设备是安全的,如图 2 所示。

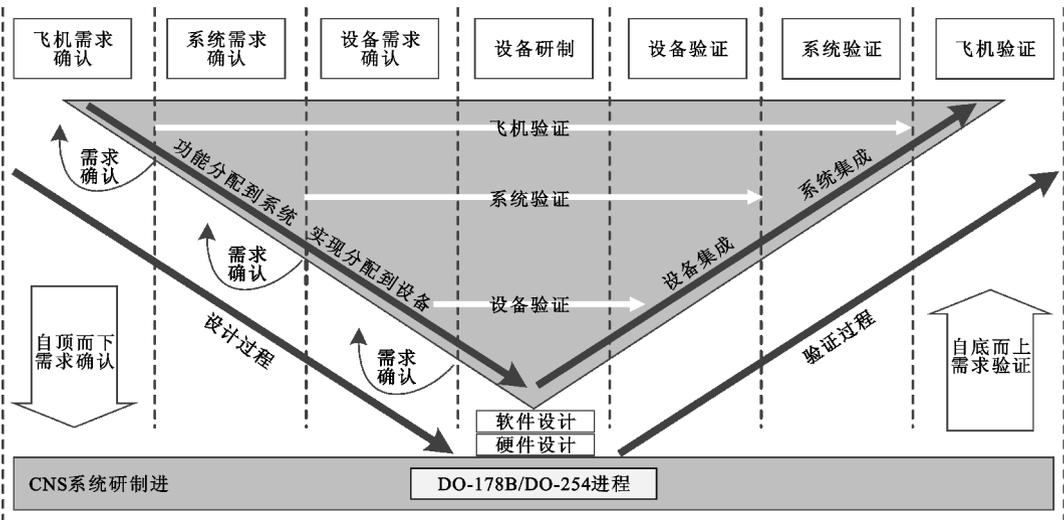


图 2 CNS 系统设计和验证过程
Fig. 2 CNS system design & verification process

通过图 2 我们可以看出民机 CNS 系统验证有 4 个目标:

(1) 功能/性能验证: CNS 系统中的各个 LRU

(Line Replaceable Unit) 设备的功能性能能够满足在 CNS 系统方案中设计需求;

(2) 安全性验证:验证 CNS 系统的安全/冗余设

计满足系统 FHA(Fault Tree Analysis) 配指标;

(3) 系统综合验证: 验证那些无法通过单个 LRU 实现的功能;

(4) 软件、硬件研制过程验证: 按照 DO-178、DO-254 进行验证。

3 验证方法

3.1 确定验证计划

从图 3 中我们可以看出需求确认后就可以制定验证计划和系统设计工作了, 设计和验证计划是同步展开的。根据图 1 中不同级别的需求我们制定了设备级、系统级、飞机级(地面)和飞行级(试飞)4 个验证计划, 并为验证计划制定了验证方法和验证场地。

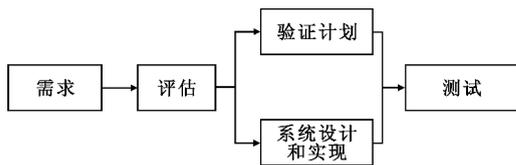


图 3 验证计划流程

Fig. 3 Process of verification plan

3.1.1 验证方法

通过 CNS 系统安全性分析^[7], 可以确定 CNS 系统的研制保证等级为 B 级, 然后按照 ARP4754A 中表 7 要求规划验证方法和验证级别。

根据需求的类型, CNS 系统的验证方法可以归纳为如下 4 种:

(1) 检查(或评审): 对于物理可见项目, 通过制定检查单逐项确认目标已达成;

(2) 分析: 通过分析测试得到的数据分析系统(设备)的需求已经满足, 一般用流程图、建模、覆盖分析等方法进行;

(3) 测试或示范: 通过加电运行系统, 确认系统的需求已经满足和系统不存在未被设计的行为;

(4) 工程类比: 如果类似项目已经适航, 那么可以采用相似比较的方式进行验证, 但由于国内没有此类产品通过适航, 因此在 CNS 系统验证过程我们不采用工程类比法。

3.1.2 验证级别

按照验证级别来规划验证场地:

(1) 设备级验证(L1): 在设备的研制生产现场进行, 验证分配给设备的功能需求已经满足;

(2) 系统级验证(L2): 在系统综合试验环境进行, 与系统内其他设备一起协同工作, 验证飞机分配

给系统的功能需求已经满足;

(3) 飞机级验证(L3): 在飞机(或铁鸟台)上进行, 与飞机上的其他系统一起工作, 验证飞机的静态功能需求已经满足;

(4) 试飞级验证(L4): 按照 AC25-7B 中的要求进行无线电飞行测试, 例如通信的拉距试验。

在实施过程中, 依据按照 CNS 系统内 LRU 设备对验证项目 and 需求进行划分, 表 1 为测试项目分配情况。

表 1 CNS 系统测试项目分配表
Table 1 CNS system test item

设备	需求数	测试项目数	L1	L2	L3	L4
MCDU	213	180	85	82	10	3
CCU	174	84	12	69	2	/
VHF	132	102	76	15	7	4
HF	88	61	37	16	5	3
DME	96	62	32	24	3	3
VIS	57	49	29	14	3	3
TAWS	63	63	23	35	/	5
TCAS	71	69	41	19	5	4
合计	894	670	335	274	5	22

3.2 测试环境方案

测试环境的方案可以根据验证级别分四个方面开展设计。

(1) 设备测试台方案

借助设备测试台可以有效地将设备工作的外部环境电源、监控器、信号源和测试仪器集成在一起, 如图 4 所示。

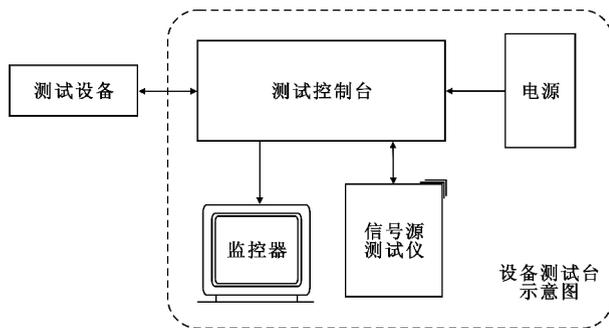


图 4 设备测试台组成测试示意图
Fig. 4 Concept frame of test equipment

(2) 综合集成测试台方案

如图 5 所示, 综合集成验证系统由平台模拟子系统、机载 CNS 分系统、地面激励子系统和支撑系统四大部分组成, 其中支撑系统又由试验控制和管理子系统、测试测量记录评估和配套保障设施组成。

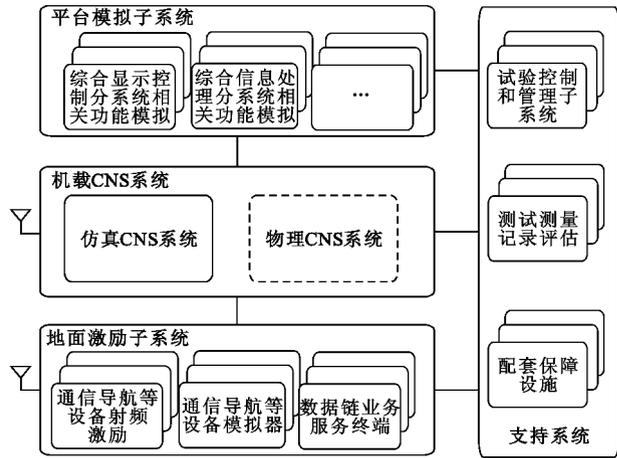


图 5 CNS 分系统综合试验环境总体框图

Fig. 5 Concept frame of CNS system test environment

(3) 飞机地面验证方案

飞机地面验证的主要目的是验证飞机上各个系统的设备已经按照真实的物理形式安装好后一起协同工作的能力。对于 CNS 系统而言,如果要正常工作还需要地面激励环境,包括地面导航台、语音/数据服务终端和其他无线电信号。

(4) 试飞验证方案

在飞行试验过程中对于 CNS 系统而言,需在飞机上安装记录飞机实时位置、高度、空速、机动等参数的设备,飞行时按照 AC25-7B 中规定的测试过程,记录测试结果。

3.3 实施和过程追溯

现以 CNS 系统的验证过程为例阐述实施和追溯过程,其他过程参考进行。

3.3.1 符合性检查单

符合性检查单作为验证过程的输出产物之一,它将 CNS 系统需要满足的需求作为检查项目,逐条

列出,通过检查、评审的方式进行审核。

以 VHF 电台为例,将其在设计过程中所列出的需求项目逐条展开,如 VHF 需求中确认通信体制需符合 ARINC716-11,那么可将 ARINC716-11 作为检查项作为检查表进行审核,如表 2。

表 2 VHF 电台 ARINC716-11 符合性检查表摘要
Table 2 ARINC716-11 applicability to VHF radio

ARINC716 章节	符合性	偏离原因
1.0 Introduction and Description	说明	非需求项
1.1 Purpose of This Document	说明	非需求项
:		
2.2 Form Factors, Connectors & Index Pin Coding	部分	连接器采用新的定义
2.2.1 Transceiver Unit	部分	连接器采用新的定义
2.2.2 Standard Control Panel	符合	
2.2.3 Antennas	符合	
:		
Appendix 1	符合	

3.3.2 追溯矩阵

适航还强调过程数据的追溯性。图 2 中的过程数据追溯性包括:

- (1) 下级需求追溯到上级需求;
- (2) 设计追溯到需求;
- (3) 验证追溯到需求;
- (4) 独立审核追溯到验证;

最后将这些追溯关系整理成追溯矩阵,如图 6 所示,最终确保下述目标已经达成:

- (1) 确认已设计的功能已经被实现;
- (2) 需求已经被满足;
- (3) 确认安全性分析仍然有效。

SSS需求编号	SSS需求标题	SSDD需求编号	SSDD需求标题	验证编号	验证标题	测试用例编号	测试用例标题
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-072	超短波电台工作参数显示界面的进入	IVV-RTU-01	超短波工作参数显示界面进入	用例43	操作、观察,通过RTU主界面进入
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-072	超短波电台工作参数显示界面的进入	IVV-RTU-01	超短波工作参数显示界面进入	用例44	操作、观察,通过通信快捷键进入
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例45	操作、测试
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例46	波道号修改
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例47	接管状态下测试
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例48	接管状态下测试
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例49	切换RTU画面
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-073	波道号修改	IVV-RTU-02	波道号修改	用例50	航电修改同步
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-074	常规预置频率修改	IVV-RTU-03	常规预置频率修改	用例51	AM模式下预置频率修改
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例52	FM模式下预置频率修改
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例53	AMS-33模式下预置频率修改
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例54	预置频率与当前模式不匹配时,预置频率显示与修改
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例55	超时确认
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例56	接管状态下测试
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例57	接管状态下测试
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例58	切换RTU画面
SSS-RTU-06	所控设备工作参数显示修改	SSDD-RTU-075	常规预置频率切换	IVV-RTU-04	预置频率切换	用例59	各种模式下预置频率切换

图 6 概要设计、详细设计和测试用例的追溯矩阵

Fig. 6 Traceability matrix

3.3.3 试验过程控制

在试验过程中,为保证过程有序、数据有效和缺陷可控,我们参照 PDCA (Plan, Do, Check, Action) 制定了 CNS 系统测试实施流程。首先确定当天测试

用例的执行计划,再执行用例,确认结果是否符合系统需求,如果符合纪录结果进入下过程,如果不符合则进入排查流程,最后根据试验情况确定第二天计划。图 7 为 PDCA 流程演变为 CNS 系统测试流程。

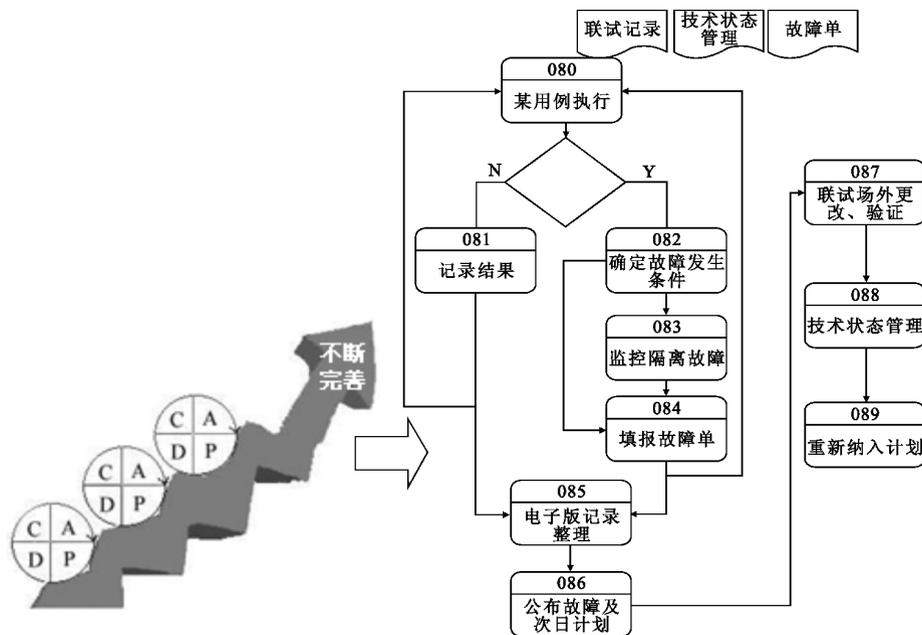


图 7 PDCA 流程和 CNS 系统测试流程

Fig. 7 Flow of PDCA & CNS system test

3.4 符合性分析

上一节按照适航要求分析出民机 CNS 系统研制过程中的 4 个验证目标:功能/性能验证、安全性验证、系统综合验证和软硬件过程验证。完成这 4 个目标,根据 FAA AC 25.1309-1B 的要求,就具备了合格审定所需的证据,其设计(不包括生产)已经达到适航性要求。

本节则从如何完成这 4 个目标出发设计了整个验证过程。其中验证计划确保验证内容的正确性和完整性;测试环境设计确保验证过程具备可操作条件,具体的测试过程可以被完成;实施和过程控制设计确保验证是有效的。最终达到验证 CNS 系统适航性目标。

4 结束语

本文首先分析确定了民机 CNS 系统的验证需求,然后开展具体的验证工作,并梳理出验证计划、

实验环境的设计、测试过程和证据追溯等过程中的方法。通过民机 CNS 系统适航验证方法的实践,可以发现验证过程的适航性更多地体现在验证的完整性和过程产物间的追溯性方面。通过课题的研究,不仅提高了民机 CNS 系统的研制水平,也为提高国内飞机的安全性,研制高任务性能和高安全裕度的航电系统提供了基础。本项目的研究成果(流程、文件、表单等),通过适当修改可以很方便地应用于其他民机航电系统的验证。

参考文献:

- [1] 程学军. 新航行系统及其在航空电子系统中的应用[J]. 电讯技术,2009,49(5):101-107.
CHENG Xue-jun. Future Air Navigation System(FANS) and its Application in Avionics Systems[J]. Telecommunication Engineering,2009(5):101-107. (in Chinese)
- [2] ARINC 660A, CNS/ATM Avionics, Functional Allocation and Recommended Architectures[S].
- [3] 刘天华. 民机无线电 CNS 系统一体化架构设计[J].

电讯技术,2010,50(7):1-5.

LIU Tian-hua. Integrated Architecture Design of Radio CNS System for Civil Aircrafts [J]. Telecommunication Engineering,2010,50(7):1-5. (in Chinese)

- [4] 焦健. 军用飞机研制适航性研究[J]. 航空维修与工程,2011(3):81-83.

JIAO Jian. Airworthiness Study for Military Aircraft Development [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2010 (7):81-83. (in Chinese)

- [5] CAAR-91-R1, 一般运行和飞行规则[S].

CAAR-91-R1, General operation and flight rules [S]. (in Chinese)

- [6] ARP 4754, Certification considerations for highly-integrated or complex aircraft system[S].

- [7] ARP 4761, Guidelines and method for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment[S].

作者简介:



雷国志(1982—),男,辽宁鞍山人,2004年华中科技大学获学士学位,2013年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为航空电子系统;

LEI Guo-zhi was born in Anshan, Liaoning Province, in 1982. He received the B. S. degree and the M. S. degree in 2004 and 2013, respectively. He is now an engineer. His research concerns avionics system.

Email:leiguozhi_126@126.com

王雷(1975—),男,山西永济人,现为工程师,主要研究方向为航空电子系统测试;

WANG Lei was born in Yongji, Shanxi Province, in 1975. He is now an engineer. His research concerns avionics system test.

Email:apaowww@aliyun.com

王涛涛(1980—),男,陕西西安人,现为工程师,主要研究方向为航空电子系统测试。

WANG Tao-tao was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1980. He is now an engineer. His research concerns avionics system test.