

传感器开放式系统架构（SOSA）研究综述

秦 琪¹ 安书董¹ 李念霏¹
QIN Qi AN Shudong LI Nianfei

摘 要

开放式体系架构是实现装备互操作协同应用的赋能基础，也是装备采购降本增效的重要手段，传感器开放式系统架构（SOSA）是美国空军提出的面向传感器系统的模块化开放系统架构项目，构建了一套陆、海、空等各军种高度通用的模块化传感器体系架构及业务模型，面向多种传感器系统定义通用化机载嵌入式计算机软硬件模块，实现传感器到计算平台的标准化。文章主要针对 SOSA 架构的技术背景及架构组成等进行了说明，SOSA 通过模块化、标准化及互操作性，能够显著提升系统的灵活性、可维护性和扩展性，采用 SOSA 可以有效降低传感器的研制成本，提升网络信息体系下多军兵种联合作战能力，其不仅是当前技术发展的核心策略，也是未来系统创新的重要推动力。

关键词

SOSA；开放式；架构；传感器；模块化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.02.024

0 引言

传感器开放系统体系结构标准 SOSA 是美国空军提出的面向传感器系统的模块化开放系统架构项目，面向多种传感器系统定义通用化机载嵌入式计算机软硬件模块，实现传感器到计算平台的标准化，如图 1 所示，分别规范机载嵌入式计算系统的硬件物理接口定义、硬件模块定义、计算环境定义、数据接口定义、应用软件组件定义、航电系统功能定义等内容。SOSA 基于标准化硬件和软件，通过支持快速部署，实现多种类型传感器系统的模块化、互操作能力、可重构能力、可扩展能力、可升级能力等目标。



图 1 美国军方开放系统架构体系

1 技术背景

当前机载传感器系统存在诸多弊端，首先研发成本高、产品成熟稳定慢、验证时间较长等。且各单位嵌入式计算研制水平参差不齐，装备试错成本较高，智能化产品实现方式

均不同，导致型号供应链保障成本高；其次，综合性需求复杂，产品研制难度加大，采取高度定制化，模块耦合性强，后期维护保养难度较大，且不同厂家版本信息管理方式不同，在线升级方式不同，对于型号技术状态管理也较高，管理难度随之加大；另外，由于产品的高度定制化，数字接口、数据格式不统一，导致系统优化调整的灵活性较差，且没有统一标准，不同类型、不同接口的传感器接入计算平台的难度较大^[1]。

随着联合作战需求和军用飞机任务系统的发展，提升战场透明度、缩短“指令-毁伤”时间、增强对时敏目标的打击能力已成为当前飞机作战研究的热点问题，开放式传感器技术即是实现上述目标的核心环节之一。

传感器开放系统体系结构（sensor open system architecture, SOSA）项目，由美空军在 2015 年 1 月 22 日牵头发起，旨在为跨军种的各种多功能 C4ISR 平台开发一系列模块化开放式系统架构规范。

SOSA 架构旨在为跨军种和平台环境的各种多功能 C4ISR 平台开发一系列模块化开放系统架构规范。具体而言，SOSA 能够促进创新、行业参与和竞争，可以快速实施具有成本效益的功能和平台任务重新配置，同时使雷达 / 合成孔径雷达（SAR）、信号智能（SIGINT）、电子战、通信和电光 / 红外等系统初始模式的后勤需求最小化，以可快速实施其功能和任务重构^[2]。

SOSA 架构是许多已有架构与新的现有标准的集合，其中包括如 C4ISR/EW 互操作性车载集成（VICTORY）、模块化开放射频架构（MORA）、OpenVPX、REDHAWK、软件通信体系（SCA）以及开放群组的未来机载性能环境（FACE）。

1. 航空工业西安航空计算技术研究所 陕西西安 710065

该架构整合硬件和软件，以满足复杂严苛的信号或数据处理要求，简化系统升级流程，降低总体研发成本，标准化及规范化能够支持可采用不同厂商提供的硬件模块，以促进竞争性采购工作。

2 国内外研究现状

为实现复杂装备系统的软、硬件解耦，开发与集成解耦，国外在开放式体系架构方面投入大量资金，设置多个研究方向和重大项目，例如开放式任务系统（open mission systems, OMS）、传感器开放式系统架构（sensor open systems architecture, SOSA）、未来机载能力环境（future airborne capability environment, FACE）等，驱动开放式体系架构技术不断迭代演变，满足不同变化的应用需求。

其中，传感器开放式系统架构（SOSA）技术构建了一套陆、海、空等各军种高度通用的模块化传感器体系架构及业务模型，实现了软件、硬件的跨军种、跨传感器的复用和集成，包括雷达系统、通信系统、信号情报系统、电子战系统、光电红外系统等，该技术采用最优的开放式体系架构与系统集成，具有很好的系统扩展性，并已在多个情报侦察监视系统中得到应用。

开放式体系架构是实现装备互操作协同应用的赋能基础，也是装备采购降本增效的重要手段，在美国和欧洲经历了多年快速发展后，面向多领域的推广应用仍然面临着诸多挑战。

3 总体架构

传感器集成已经成为现代系统运行的一个基线。传感器可以更好地了解物理和电磁环境，为从导航到对抗措施的一切提供态势感知。传感器和依赖传感器结构的部署正在不断增长，传感器必须支持系统功能，这是现代系统的优先发展方向。

SOSA 生态系统主要由两部分组成，一是包含开放式系统架构（OSA）在内的一系列 SOSA 技术标准，包括软件、硬件以及电气和机械接口标准，旨在促进适用于各类传感器和主机平台的可复用传感器组件的开发；二是开放式商业模式，即业务逻辑，以满足采购的需求并确保强大的工业基础，包括使采购适应模块化开放式系统方法（MOSA），保护行业知识产权，以及激励行业广泛投资可应用于各种传感器的适用技术的业务流程。SOSA 技术标准定义了通信、光电红外、电子战、雷达和信号情报等五类传感器架构和接口，对传感器进行模块化封装，规范模块间和接口交互关系，并依据开放式架构对接口进行分类^[3]。SOSA 传感器的功能分解可划分为 6 类顶层功能模块提供功能服务：（1）SOSA 传感器管理；（2）信号/目标处理；（3）数据分析及利用；（4）发射和接收；（5）数据传递；（6）系统操作支持。

SOSA 技术标准采用成熟的架构方法开发，从整体业务

需求和作战需求推导出技术细节。SOSA 技术标准的架构开发如图 2 所示。SOSA 标准描述了 SOSA 模块规范（功能、行为、接口）及其综合的硬件元素和软件组件。

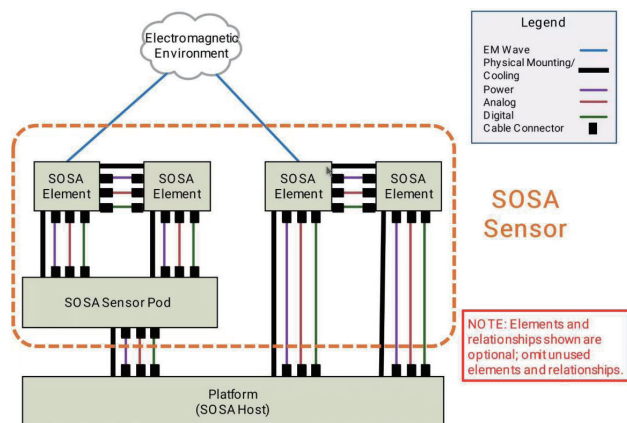


图 2 标准情况下的系统接口

SOSA 技术标准定义了两类接口：SOSA 外部接口及 SOSA 内部接口。

如图 2 所示，SOSA 外部接口即穿越图中橙色边框线的接口；SOSA 内部接口即图中橙色边框线内部的接口。

SOSA 传感器标准情况下是安装在 SOSA 主机上。其中，主机平台是 SOSA 传感器安装的物理实体，如飞机、水面艇等装备或其内的一个或多个吊舱的组合。

SOSA 基础架构提供 SOSA 模块执行其功能所需的传感器组件。SOSA 架构将这些基础设施组件标准化为硬件元素、RTE（run-time environments）和交互基础设施。硬件元素被归类为硬件插卡（plug-in card PIC）、孔径、机箱和电源，还有一个独立兼容硬件元件，称为机箱管理器，管理机箱内的 PIC。电源是独立管理的，通过智能平台管理接口/总线（IPMI/IPMB）与智能平台管理客户端（IPMC），负责向机箱内的 PIC 提供指定电压。

SOSA 架构定义了一个标准 RTE 来承载软件，从而促进软件的可移植性，并允许本机软件能够在操作系统、虚拟机监控程序管理的虚拟机应用程序或容器引擎编排的容器化应用程序上运行。

SOSA 架构定义的标准交互基础设施，允许 SOSA 模块通过一个标准化的交互基础设施相互通信。该文件定义了一套应用编程接口（API），软件组件可以采用这些接口来进行模块间的通信。通过 API 或其他方式进行的模块间通信将使用一组经过批准的交互绑定来执行，以通过在线接口兼容性来促进模块化和可升级性。

3.1 SOSA 的物理环境

3.1.1 SOSA 硬件元件

一个 SOSA 传感器由一组安装在同一主机平台上的一个或多个 SOSA 硬件元件组成。硬件元件可以组合在一起，也可以分布在 SOSA 主机平台上的不同位置，是 SOSA 传感器

的一个物理组件，可以包含软件和固件，可以支持一个以上的传感器类型。它包括但不限于部分内容，如：（1）孔径（天线、成套天线阵列、成套成像阵列或成像炮塔）；（2）硬件外壳（如机箱）；（3）SOSA 硬件元件可以选择包含连接到其背板的 SOSA 插件卡（PIC）。

3.1.2 SOSA 传感器

SOSA 传感器由一组一个或多个 SOSA 传感器硬件元件组成（其中一些承载软件组件）。每个 SOSA 传感器都是 5 种传感器类型（通信、EO/IR、EW、雷达和 SIGINT）中的一种或 5 种传感器类型的任何组合。任何跨越 SOSA 传感器边界的接口都是 SOSA 的外部接口。传感器系统的功能要求必须映射到物理结构中，以便更全面地展示集成传感器系统结构。

3.1.3 SOSA 主机平台

SOSA 主机平台是安装 SOSA 传感器的物理实体。通常情况下，它是一个车辆或结构（如飞机、水面飞船、建筑物或吊舱）或一个车辆 / 结构内的一个或多个吊舱的组合。向传感器提供包括电源、导航信息、网络等资源。

3.2 SOSA 功能子系统定义

SOSA 架构基于一系列松散耦合的模块化实体，这些实体通过其逻辑接口与底层运行环境和其他实体进行交互。雷达、电子光学 / 红外（EO/IR）、电子战（EW）、信号情报（SIGINT）和通信这 5 种传感器类型可以由一组 SOSA 模块组成，其功能模块来自传感器系统的功能分解。模块定义最大程度地利用了传感器类型之间的共性。

不是所有的 SOSA 模块都需要在每个传感器中出现：传感器开发者可以根据其任务的需要，选择 SOSA 模块来实施。

并非所有实现的传感器功能都需要符合 SOSA：没有所谓的符合 SOSA 的传感器系统，只有符合 SOSA 的模块。

SOSA 传感器系统由 3 个子系统和多种服务组成。系统管理器（1.0）和任务管理器（1.2）组成 SOSA 传感器管理子系统。信号处理子系统被定义为传输 / 接收（2.x）、处理信号 / 目标（3.x）、分析 / 开发（4.x）和传递（5.1）功能模块。支持 / 系统运行子系统（6.x）包含传感器基础设施功能，包括安全服务（6.1），电源（6.10）和主机平台接口（6.9）。

SOSA 传感器系统定义的一套机箱连接器和引脚分配涵盖了大量通用 / 常用接口。SOSA 技术标准允许一个连接器定义多个副本，以进一步扩大可用的物理接口，满足复杂的任务需求。

SOSA 传感器系统功能的任何组合都可以包含在一个或多个机箱组中，每个机箱作为一个单一的功能传感器单元运行。多个传感器可以驻留在同一个平台或吊舱主机上。

如果一个传感器希望通过使用符合要求的 SOSA 产品来实现高水平的一致性，预计该传感器将至少使用一套最低限度的符合要求的 SOSA 模块。这套最低限度的 SOSA 模块在表 1 中列出，并在概念上被认为是任何传感器系统的基本功

能模块。

表 1 传感器系统的基本功能模块

模块	理论依据
1.1 系统管理器	所有系统都存在系统状态控制、健康和状态监测功能。
1.2 任务管理器	任何系统都必须进行系统资源的管理。
2.3 接收器 / 激发器	由于它是一个传感器，将需要某种类型的信号调节 / 前端。
2.4 发射器 / 集电体	由于它是一个传感器，必须有某种类型的信息源 / 汇。
6.9 主机平台接口	传感器必须被托管在某种类型的平台上。
6.10 电源	所有传感器都需要电源。

3.3 硬件模块

SOSA 架构采用了一套硬件构建的方法，这些构建模块允许从一个应用程序转移到另一个应用程序，并将返工和集成的工作量降到最低。硬件模块的构建主要包括插件卡配置文件（PICPs）和插件卡（PICs），依据标准，通过定义插件卡配置文件（PICPs）确定功能分配和硬件模块的划分，再进行每一个插件卡的插槽信号定义。这些构件的通用化能够创造跨应用的移动潜力。

模块中的插件卡主要包含多种类型，如图 3 所示，用户可以根据应用场景设计不同种类的模块组合，这些模块采用 Open VPX 对应标准进行信号定义及模块划分，分别为射频负载卡、数据负载卡、接口处理卡、时钟卡、存储卡、交换卡及电源卡。

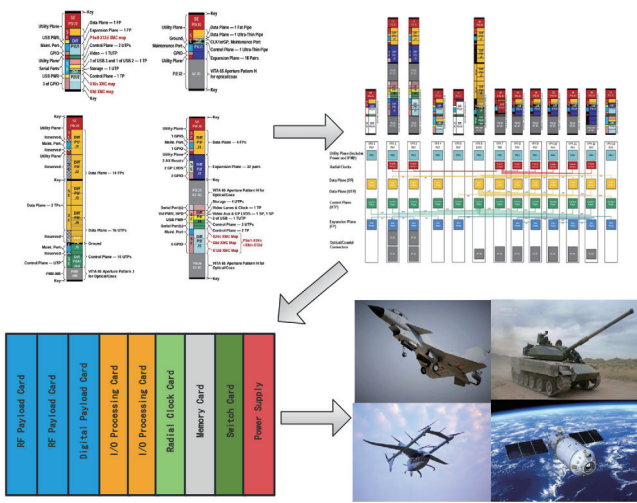


图 3 SOSA 硬件构建要素

3.4 SOSA 电气和机械接口

SOSA 架构由一组松散耦合的模块实体组成，通过由底层 SOSA 基础设施实现的定义明确的逻辑接口相互作用。模块实体之间的交互是通过网络互联上的消息来实现。交互的网络实现（编码、封装、传输等）无论在硬件、软件还是固

件中实现都是相同的。在可移植软件中，SOSA 模块利用交互基础设施的 API，将交互实现为网络消息。

3.4.1 机械接口

主机平台接口是连接 SOSA 传感器和主机平台的桥梁。它将 SOSA 交互转换成主机平台接口协议。例如，插入基于开放式任务系统（OMS）平台的 SOSA 传感器将有一个主机平台接口模块，该模块在朝外的一侧支持 OMS 接口，在朝内的一侧支持 SOSA 模块接口。

3.4.2 电气接口

SOSA 传感器的电气连接器等级（电气等级）定义了可用于 SOSA 传感器电气接口的允许的电气接口套件（连接器类型及其相关信号接口）。SOSA 技术标准提供了广泛的可用于集成到平台或传感器元件的定义连接器接口。SOSA 电气等级由 SAE AS6129 中为机载 EO/IR 电气系统定义的传感器封装直径决定。目前，有电气等级 1 和 2，等级 3 和等级 5。电气等级 1 和 2 是耦合的。各个等级的大小和复杂程度也有一定的比例关系，从通常最大、连接最复杂的 1 级，到最小、连接最不复杂的 5 级。

3.4.3 应用编程接口（API）

SOSA 架构基于一系列松散耦合的模块化实体，这些实体通过其逻辑接口与底层运行环境和其他实体进行交互。

在以软件可移植性为主要目标的情况下，可以通过使用操作系统应用编程接口（operating system API）访问操作系统资源和使用传输应用编程接口（transport API）访问通信资源实例化 SOSA 模块。在这种情况下，SOSA 模块能够充分利用底层运行环境接口（REI）提供的应用编程接口（API），如 I/O、处理、存储、通信等。

除了所使用的应用程序接口外，SOSA 模块实施还将通过交换定义明确的标准化信息来实现互操作。如果 SOSA 模块是由使用传输应用程序接口（transport API）访问通信资源实现的 SOSA 模块实例化，则应使用 FACE 技术标准第 3.1 版的传输服务能力、分发能力、配置能力和 QoS 管理能力来实现 SOSA 报文互连和 SOSA 宽带低延迟互连上的交互。

3.5 软件运行环境

SOSA 架构定义了一个标准的实时运行环境（RTE）来承载软件。这促进了软件的可移植性，并允许在操作系统之上执行的本地软件应用，由管理程序管理的虚拟机内的应用，或由容器引擎协调的容器化应用。

SOSA 模块可以包含广泛的功能，其中许多是通过计算机处理完成的。SOSA 模块可以通过各种媒介实现：硬件、可配置设备（即 FPGA）、软件或这些的组合。实时运行环境（RTE）在一个通用处理器中提供了一个可执行的软件基础设施。为了促进 SOSA 技术架构的开放和标准化目标的软件可移植性，RTE 被指定用于 SOSA 模块软件。SOSA 软件运行环境接口（REI）将定义接口，以支持符合 SOSA 质量属性（包括开放和标准化目标）的软件开发。SOSA 软件运

行环境接口不会强制规定具体的运行时实施方案，但会指定具有性能和安全属性的标准化接口，作为未来研究的一个领域。REI 描述将得到加强，以提供更详细的指导，利用并支持 FACE 技术标准、OMS、MORA 规范、FROST 架构规范、REDHAWK/TOA 和通用开放架构雷达程序规范（COARPS）。

4 结语

应用 SOSA 架构，根据产品需求的不同，可以组合配置上百上千种配置选项，共同构成了用于通信、电子战、雷达、电子监视和其他射频应用的下一代高性能射频传感器系统的基础。通过遵循 SOSA 插槽配置文件能够实现模块化、互操作性、可重新配置性、可扩展性和可升级性，同时能够降低传感器系统所需的成本和开发时间，可以最大化平台和系统的经济性、可重构能力、性能和可重用性。为多传感器和 C4ISR 系统提供商业、采购实践标准和技术环境，从而培育创新、竞争和工业准则。使得快速形成低成本能力和平台任务配置成为可能，同时最小化逻辑需求。

参考文献：

- [1] COLLIER C P, LIPKIN I, DAVIDSON S A, et al. Sensor open system architecture (SOSA)[C/OL]//Proceedings Volume 9849, Open Architecture/Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation 2016. Bellingham, Washington: International Society for Optical Engineering, 2016[2024-07-11]. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9849/1/Sensor-Open-System-Architecture-SOSA/10.1117/12.2225069.short>.
- [2] COLLIER C P, LIPKIN I, DAVIDSON S A, et al. Sensor open system architecture (SOSA) evolution for collaborative standards development[C/OL]//Proceedings Volume 10205, Open Architecture/Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation 2017. Bellingham, Washington: International Society for Optical Engineering, 2017[2024-07-11]. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10205/1/Sensor-Open-System-Architecture-SOSA-evolution-for-collaborative-standards-development/10.1117/12.2265841.short>.
- [3] Technical standard for SOSA™ reference architecture[EB/OL].[2024-08-23]. <https://publications.opengroup.org/s221>.

【作者简介】

秦琪 (1993—)，女，陕西西安人，硕士，工程师，研究方向：计算机系统结构设计，email: nwpu_qq@163.com。

(收稿日期：2024-10-31)