

# A Kind of Embedded Software Development Method and Architecture Suitable for Weapon Equipment Development

Yuanyuan Qi<sup>1</sup>, Zhaoshun Wang<sup>1</sup>, Guilan Dai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing

<sup>2</sup>Research Institution of Information Technology, Tsinghua University, Beijing  
Email: [gydreamy@126.com](mailto:gydreamy@126.com)

Received: Jun. 20<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jun. 22<sup>nd</sup>, 2015; published: Jun. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Military software usually needs to confront harsh battle environment. It request highly invulnerability and real-time. At the same time, it is always restricted severely by software and hardware. For this problem, we analyze the SCA, OSGi and DDS, then we propose the development method and the architecture of a kind of embedded software applicable to weapon development, which build SCA model with OSGi specification and take the data-centered communication mechanism in distributed system. They make weapon system perform better in efficiency, expansibility, instantaneity and dynamic.

## Keywords

Embedded Software, Weapon, Distributed System

---

# 适用于武器装备发展的嵌入式软件开发方法及架构

祁媛媛<sup>1</sup>, 王昭顺<sup>1</sup>, 戴桂兰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京科技大学计算机与通信工程学院，北京

<sup>2</sup>清华大学信息技术研究院，北京

Email: [gydreamy@126.com](mailto:gydreamy@126.com)

收稿日期：2015年6月20日；录用日期：2015年6月22日；发布日期：2015年6月26日

## 摘要

军用软件系统往往需要面对恶劣的作战环境，对抗毁性、实时性等方面的要求极高，且严重受到软硬件资源的限制。针对此问题，本文分析了SCA、OSGi等主流模型以及DDS规范，并提出了一种适用于武器装备发展的嵌入式软件开发方法与架构，即采用OSGi规范构建SCA模型，在分布式系统中采用以数据为中心的发布/订阅通信机制，使得武器装备系统在开发效率、可扩展性、实时性、动态性等方面都有极大改善。

## 关键词

嵌入式，武器装备，分布式

## 1. 引言

IEEE 将嵌入式系统定义为“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”，即为软件与硬件的综合体[1] [2]。实际应用中，有很多领域需要用到嵌入式软件开发技术，实现高效、可靠地软件开发是完成需求的前提和关键，而如何将软件与硬件无缝接合，使得系统运行高效也是嵌入式软件开发关注的重点问题[3]。随着科学技术的不断提升，新型武器装备对软件系统的要求也越来越高，在实时性、高效性、可靠性等方面达到更高的标准是武器装备中嵌入式软件系统不断追求的目标。

在软件开发技术的发展历程中，涌现过很多优秀的软件开发方法及架构，它们有各自的优势及其适用的场景与领域。软件开发方法从面向过程到面向对象再到面向服务，不断地改善着需求客户与开发人员沟通的桥梁，使软件开发从设计到需求及后期的维护步骤愈加清晰，效率也逐步提升。

本文介绍了软件开发历程中几种主要的软件开发方法，分析了SCA、OSGi模型与DDS规范。针对武器装备对软件系统动态性、实时性、可扩展性等方面的要求，本文提出了一种基于SCA与OSGi模型、以数据为中心的发布/订阅架构，最后通过实例说明该架构的实用性。

## 2. 嵌入式软件开发技术简介

- 1) 结构化的软件开发。结构化的软件开发方法主要思想是采用自顶向下，逐步求精的方法将整个业务体系抽象为一系列功能模块。结构化的软件开发方法存在着稳定性不高，对功能变化适应程度低，开发效率低以及开发周期长等不足。
- 2) 面向对象的软件开发。面向对象的软件开发方法解决了结构化对业务需求变化的适应能力低的问题，它将同一范围内各个相似的功能统一抽象为一个类，并提供一个统一的接口供其它类调用。面向对象极大的提升了软件开发过程的效率，具体表现在：成本低、效率高、易扩展。相比结构化方法，适用于规模较大的项目开发。
- 3) 模型驱动开发方法。模型驱动开发方法是通过系统建模模型来驱动整个系统的开发，实现系统需求分

析、系统设计、功能实现及其后的测试、部署一系列工作的自动化[4] [5]。模型驱动方法变革了以代码为中心的开发方法，适用于不同技术、平台集成的场景。

- 4) 基于组件的开发方法。基于组件的开发方法则彻底屏蔽了底层的实现细节，它将特定功能封装为一个独立的部署单元，各组件独立于编程语言与开发平台。基于组件的开发方法在很大程度上提高了软件复用性，能很好的适应软件开发平台的移植与软件架构的改变，使现有资源得到充分利用，并且使开发人员更好的关注业务逻辑本身，极大的提高了开发效率[6]。基于组件的开发方法改善了各种传统软件开发方法的弊端，适用于大型软件开发项目、集成环境及遗留系统的移植等等。

### 3. 相关标准与主流思想

#### 3.1. SCA 模型

SCA 是由 BEA、IBM、Oracle 等知名中间件厂商联合制定的一套符合 SOA 思想的规范，它旨在将业务功能作为一系列服务组件提供，为特定业务需求提供解决方案[7]。如图 1 所示，Composite 为 SCA 中系统部署的基本单元，其中可包含一个或多个 Component，Component 主要包含引用、服务、实现等元素。图 1 中 component A 通过引用获取 component B 的服务，而 component B 通过导出自己的服务供外界引用，component A 与 B 都有自己的实现 implementation。所有 SCA 服务组件均存在于 SCA Domain 中，Domain 是一个完整的供服务组件部署、运行的容器[8] [9]。SCA 的初衷是面向企业应用集成领域，其屏蔽了底层实现，组件重用性、可扩展性强，开发效率高，被广泛的应用于遗留系统的移植、异构系统集成等大规模项目开发中。

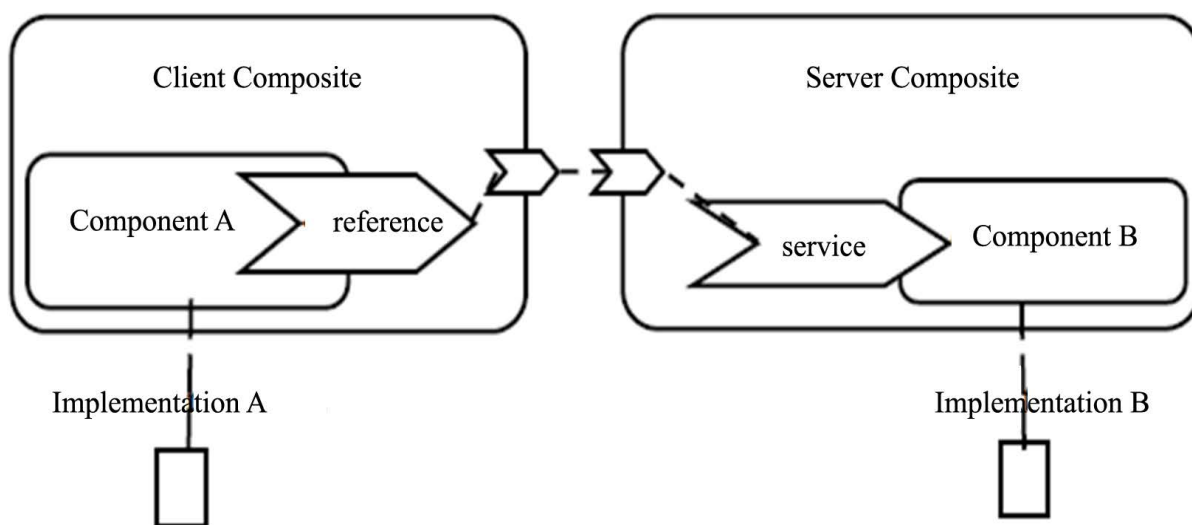


Figure 1. SCA service component model chart  
图 1. SCA 服务组件模型图

#### 3.2. OSGi 规范

OSGi 是由 OSGi Alliance 制定的一个基于 Java 的服务规范，它实现了一种动态插件机制，组件可以在运行期动态装配、升级、卸载，其主要包含 4 个层次：Java 运行环境、模块管理、生命周期管理以及服务注册。由于 OSGi 动态管理的优秀特性使得它成为许多应用开发的最佳选择，但 OSGi 不支持跨平台

开发,这使它具有很大局限性。而 SCA 独立于平台、编程语言这一特性恰好弥补 OSGi 这一缺陷。OSGi 的设计初衷是为嵌入式系统、移动设备等提供通用软件运行平台,现在它已逐渐成为室内智能装置、移动电话、汽车等网络设备的应用程序。

### 3.3. DDS 标准协议

DDS 是 OMG 针对分布式实时系统中数据订阅模型颁布的规范,是国际上第一个规范分布式系统数据交换的开放标准,它定义了一个以数据为中心的发布/订阅通信机制,其数据模型与平台无关,并将资源状况、资源期待度、网络状况等用 QoS 参数的形式进行描述,从而大大增强了通信的实时性和灵活性 [10]。DDS 规范定义的架构分为两层:以数据为中心的发布/订阅层(Data Centric Publish-Subscribe, 简称 DCPS),以及本地数据重构层(Data Local Reconstruction Layer, 简称 DLRL)。

DCPS 为核心层,提供数据发布/定义机制,即发布者发布数据,订阅者通过根据自己的偏好订阅感兴趣的数据。DLRL 层是一个可选层,其功能为将接收到的数据重组,传至上层应用层。由于 DDS 中间件的轻便性与实时性,其方法广泛应用于各种领域的网络通信,包括作战系统、无人机系统、航空航天、金融等。

## 4. 适用于武器装备发展的新型嵌入式软件开发方法及架构

武器装备嵌入式系统存在一定的特殊性,包括需面临复杂、恶劣的作战环境,需要极强的抗毁性与容错性,作战过程中对事件的响应要有很强的实时性,且受到严格的软硬件资源的制约。由于传统的软件开发模式开发周期长,异构环境通信多采用特定私有协议或基于 COBAR,在可复用性、动态性、稳定性等方面都有着严重不足,综上所述,不难发现无论从软件重用性还是从可扩展方面来考虑,组件化系统结构是最佳选择,同时采用当前发展成熟的标准规范有利于提升开发效率。因此,我们提出一种基于 SCA 标准模型与基于 OSGi 规范相结合的新型嵌入式软件开发方法,提高开发效率和系统灵活性。

### 4.1. 适用于武器装备系统的新型嵌入式软件架构

国际 OSOA 组织于 2007 年颁布了 SCA 与 OSGi 结合的白皮书《Power Combination: SCA, OSGi and Spring》,其中描述了 OSGi 与 SCA 集成的几种方式,可将 OSGi 服务作为 SCA 组件或通过 SCA 组件绑定 OSGi 服务,也可以将 SCA 组件作为 OSGi 容器内的服务,最佳的方法是用 OSGi 规范构建 SCA。

本文采用以 OSGi 规范构建 SCA 的方法来实现 OSGi 与 SCA 的集成。由于 SCA 架构可扩展性强、组件可重用性高,对于嵌入式系统开发模式来说是不二选择,而 OSGi 有着很强的动态性和灵活性,与 SCA 形成优势互补。本模型以 OSGi 的机制构建 SCA 组件,将 OSGi Bundle 封装为 SCA 组件,通过 Bundle Activator 管理组件的生命周期来实现组件的动态装配、升级、卸载等。外层封装为 SCA 组件对外提供服务,屏蔽内部实现细节,解决了 OSGi 基于 Java 环境的限制。以这种方法实现 OSGi 与 SCA 的集成既可以将 OSGi 作为 SCA 组件,又可以通过绑定 OSGi 服务实现特定功能。图 2 为新型嵌入式软件开发架构图。

SCA 组件封装了 OSGi Bundle 作为系统调度的基本单元,其 SCA 组件内部可以为任何符合 SCA 接口规范的实现,Composite 内部的组件调用可以通过引用实现,Composite 之间或 Composite 与 Domain 外的服务交互可以通过绑定服务实现。服务注册中心的实现类似于 OSGi 规范所描述的机制,发现模块可动态发现服务,并将其注册在服务注册中心,相应的产生一个服务监听对象来实现对该服务状态变化的监管,当服务改变时,监听对象会广播其已更新。组件的实现形式与服务注册中心是本架构的核心,除此还有一些如安全管理、错误处理等必要的辅助模块。

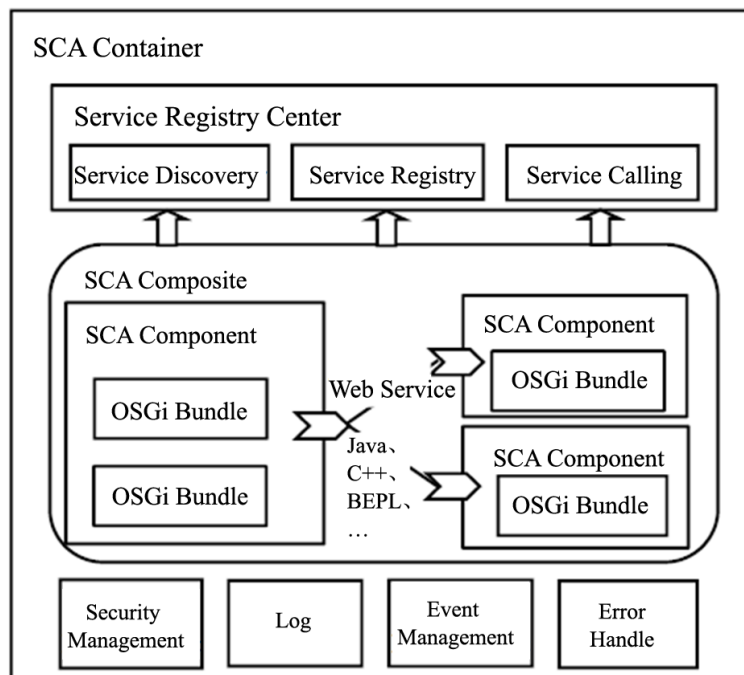


Figure 2. New embedded software development structure  
图 2. 新型嵌入式软件开发架构

#### 4.2. 适用于分布式武器装备系统的嵌入式软件架构

基于 OSGi 构建 SCA 的模型改善了传统开发模式在重用性、扩展性、动态性等方面的缺陷，但武器装备往往对实时性方面要求较高，分布式系统通信时需采用实时性高的通信模式以适应军事系统。

##### 4.2.1. 分布式武器装备系统通信模型

DDS 规范所描述的以数据为中心、发布 - 订阅模型能够及时响应系统命令，满足高实时性的要求，非常适用于分布式系统中节点间的通信。同时 DDS 规范标准化了分布式实时系统中数据发布、传输以及接收的接口，具有很强的通用性。本文将封装了 OSGi Bundle 的 SCA 作为分布式系统中的独立节点，图 3 为分布式武器装备系统中各节点间的通信模型。

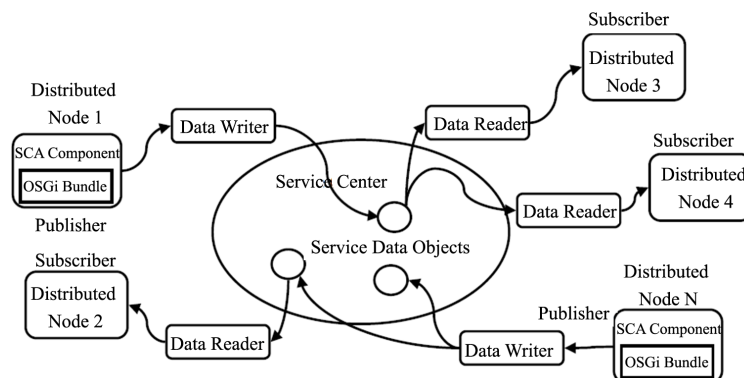


Figure 3. Weapon system communication model  
图 3. 武器装备系统通信模型

如图 3 所示，将封装好的 SCA 组件作为独立的分布式节点，作为发布者，组件可以将自己的服务发

布出去，在以数据为中心的通信模型中，数据 writer 将数据写入全局数据空间的数据对象中；作为订阅者，组件通过订阅自己感兴趣的消息筛选数据中心的数据，一旦数据中心出现订阅消息，数据 reader 会立即将此数据对象传回订阅者。发布者与订阅者不必建立严格的同步机制，因此数据传输十分灵活，同时组件的请求一旦满足可得到及时响应，使组件间的通信达到很高的实时性。

#### 4.2.2. 分布式武器装备嵌入式软件系统架构

分布式武器装备系统在集成 SCA 与 OSGi 的基础上，加入了以数据为中心的发布/订阅通信模型。

如图 4 所示，服务以 SCA 组件封装 OSGi Bundle 的形式向外发布，与传统 OSGi 模型中不同的是，本架构改进了服务注册中心的运行模式，服务发布者发布服务后由注册模块将其注册到服务中心或由更

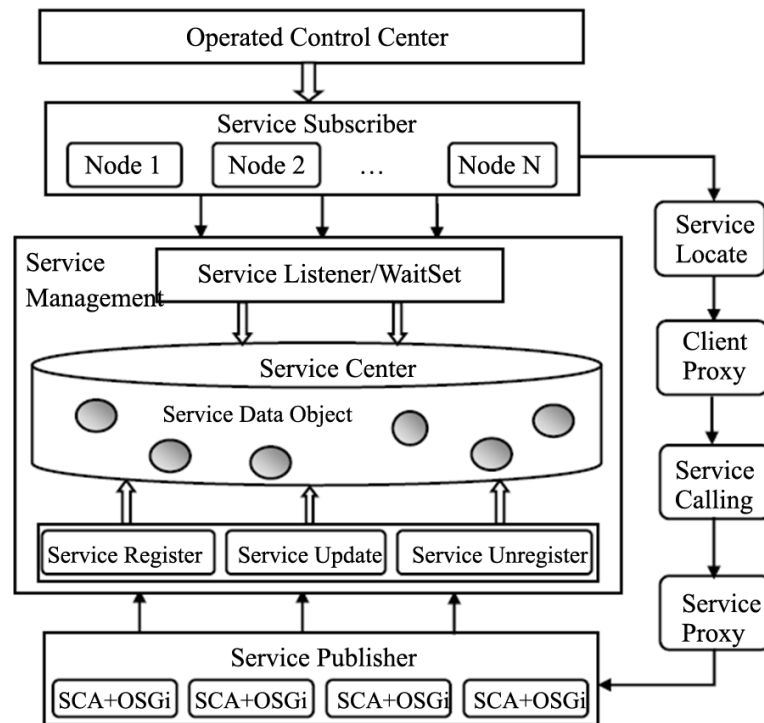


Figure 4. The architecture of distributed weapon equipment embedded software system

图 4. 分布式武器装备嵌入式软件系统架构

新模块将升级信息发布到服务中心。服务订阅者通过设置 topic 筛选自己感兴趣的服务，在同步机制下，调用 WaitSet 接口等待订阅服务出现；在异步机制下，采用服务 Listener 监听服务中心，一旦出现订阅服务立即通知服务消费者，通过回调实现服务调用。调用服务时，通过服务定位获取服务位置，然后产生客户端代理执行调用过程。

#### 4.2.3. 应用实例

武器装备系统中，整个系统作为一个 SCA Domain，所有 composite 均存在于 Domain 中，每个 composite 包含若干 component，通过相互合作实现特定功能。如图 5 所示，雷达服务、声呐服务、识别服务等作为独立的 composite 向外提供服务，其内部包含较细粒度的若干 component，通过相互配合提供雷达、声呐等服务，这些组件遵从 OSGi 规范，能够动态发现、加载。其中发射控制组件的实现需要引用雷达系统、声呐系统等组件。



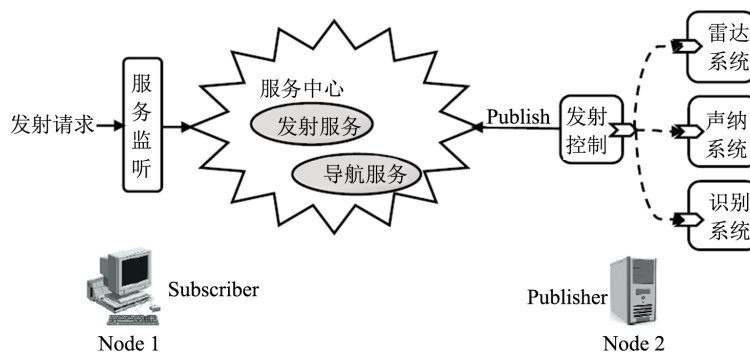


Figure 5. Case diagram of local combat command system

图 5. 局部作战指挥系统实例图

在图 5 中，节点 1 服务订阅者订阅了发射服务，节点 2 的发布者将发射服务发布到服务中心。服务监听模块 Listener 检测到发射服务并通知节点 1 的订阅者，服务订阅者收到消息执行回调操作，通过访问路径、服务名、请求消息体等一系列信息绑定发射服务，在本地生成客户端代理并通过远程过程调用完成对发射服务的调用。

## 5. 结论

武器装备要求嵌入式软件在软件效率、可靠性、实时性、灵活性等方面都需要达到一定要求，本文提出了一种基于 OSGi 规范构建 SCA 模型的嵌入式软件架构，能够满足武器装备对嵌入式系统的要求。基于组件的开发模式有利于增强软件复用性与可靠性，提高软件的开发效率，结合 OSGi 的开发模式使得系统在调用服务方面更具灵活性、动态性。对于分布式系统来说，组件之间的通信模式是影响嵌入式系统实时性的重要因素，采用以数据为中心、发布/订阅的通信机制，极大的满足了武器装备对实时性的要求。由于发布/订阅的通信模型较单一，今后将把工作重点放在高效、多样化通信模式上，使系统能够满足更多场景。

## 参考文献 (References)

- [1] Carbone, J. (2007) The embedded software development challenge: Standard isation vs. choice. *Embedded System Engineering*, **15**, 37
- [2] (2013) The Welch library liaison-to-embedded-informationist program. <http://www.welch.jhu.edu/liaison/about-liaison.html>
- [3] Soonhoi, H. (2007) Model-based programming environment of embedded software for MPSOC. *Proceedings of the 2007 Conference on Asia South Pacific Design Automation*, Seoul, 2007: 330-335
- [4] Matragkas, N., Gray, I., Kolovos, D., Paige, R., Audsley, N. and Indrusiak, L.S. (2011) D4. 1 model transformation and code generation tools specification. <http://www.mades-project.org/>
- [5] 周云 (2010) 面向实时作战决策支持的动态数据驱动仿真理论和方法研究. 博士学位论文, 国防科学技术大学, 长沙.
- [6] 陆小虎,于东,胡毅,等 (2013) 基于异构多核处理器的嵌入式数控系统研究. *中国机械工程*, **19**, 2623-2628.
- [7] Basu, A., Bensalem, S., Bozga, M., Combaz, J., Jaber, M., Nguyen, T.H. and Sifakis, J. (2011) Rigorous component-based system design using the BIP framework. *IEEE Software*, **28**, 41-48.
- [8] Wang, X.M. (2009) A model of measuring software structure complexity and its auto-realization. *Computer Application*, **19**, 16-19.
- [9] Lau, K.-K. and Wang, Z. (2007) Software component models. *IEEE Transactions on Software Engineering*, **33**, 709-724.
- [10] (2004) OMG data distribution service for real-time systems specification.