

文章编号: 1672-2892(2012)01-0041-05

基于分层递阶控制 SAR 测控系统软件架构设计

黄小波, 李 俊

(中国电子科技集团公司第38研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 针对合成孔径雷达(SAR)测控系统软件设计需求, 在比较传统设计方法的基础上, 提出了一种基于分层递阶控制的软件架构设计方法, 将测控系统软件体系划分为基本层、执行层和决策层, 并通过对决策层建立信息库、故障库和控制库的三库管理策略, 实现对任务的分类管理。通过对各层建立功能矩阵表达式, 得到软件架构的数学模型, 为编码设计提供依据。

关键词: 分层递阶控制; 软件架构; 功能矩阵; 测控系统; 合成孔径雷达

中图分类号: TN958

文献标识码: A

Software architecture design for SAR measurement and control system based on hierarchically control

HUANG Xiao-bo, LI Jun

(No.38 Research Institute, CETC, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract: To meet the software design requirements for Synthetic Aperture Radar(SAR) measurement and control system, the paper presents a method for designing software architecture based on hierarchically control after comparing several traditional design methods. Via this new approach, the measurement and control system software composition is divided into three levels(basic level, executive level and decisive level), and with the three libraries(information library, fault library and control library) management strategy for executive level, the classified management for task is achieved. At the same time, by establishing function matrix for every level, the mathematical model of software architecture is obtained, which provides a reference for coding.

Key words: hierarchical control; software architecture; function matrix; measurement and control system; Synthetic Aperture Radar

合成孔径雷达(SAR)是 20 世纪 50 年代初发展起来的一种新型雷达体制。它利用脉冲压缩技术和合成孔径技术, 实现了雷达图像在距离向和方位向上的高分辨力, 具有全天候、全天时和穿透能力强的特点, 能在云、雾、雨等恶劣气象条件下获取高分辨力的图像。在军事及民用领域都具有重要的研究意义和广阔的发展前景, 是当前国际最前沿的对地观测技术之一^[1]。在 SAR 中, 测控系统软件用于实现对各分系统的控制、工作参数设置及故障状态的监视等, 同时还要依据成像模式和分辨力要求产生可变时序, 完成对脉冲重复频率、波门、采样长度、脉宽等参数控制。由于 SAR 研制的很多经验继承于地面雷达, 因此, 软件的开发和设计手段还停留在地面雷达通用开发方式上, 偏重于功能实现层面上, 一般采用层次化设计方法^[2-3], 将不同用途的功能模块进行搭建、组装。但当系统越来越复杂, 一个大系统成为另一个更大系统的子系统时, 软件的扩展将变得困难。随着 SAR 在航空、航天领域上的拓展应用, 对软件的可测性、维护性、继承性也提出新的挑战。为高效、可靠地完成系统要求, 便于后续拓展, 需要设计一种标准化、通用化测控系统软件架构, 提高软件系统快速设计能力。目前在国内, 开始有学者和科研人员尝试将其他方法应用于测控系统软件体系设计中, 应用的方法包括使用统一建模语言对软件系统建模, 以明确软件的结构^[4]; 使用分层递阶控制系统结构设计思想来细化每层的具体设计要求^[5]; 基于软件总线数据驱动的框架实现^[6]和基于构件技术的测控软件体系结构设计^[7]。国外目前主要从软件工程本身角度来探讨软件体系理论^[8]。本文从工程应用角度出发, 设计了一种基于分层递阶控制的软件架构, 通过对各层建立功能矩阵, 获得 SAR 测控系统软件架构的数学模型, 并结合工程实践, 详细介绍了此方法的具体设计和实现过程。

收稿日期: 2011-09-15; 修回日期: 2011-10-25

1 分层递阶控制

分层递阶控制是针对大系统而提出的一种控制策略,其原理是将整个系统划分为若干层面(或若干等级),一级为最高层,再根据任务大小依次划分为二级、三级、四级等等。层次越低,被控制量和参考值等指标越具体。同时可以根据新的任务来源,一级可以降低为二级,高级别的任务提升为一级,体现了一种可拓展特性。信息的交互仅限于相邻层之间,非相邻层间无直接信息交互,层与层间的信息交互成线性关系。

如果将 SAR 理解为一个系统,完成各项性能指标是这个大系统要实现的功能,依据控制理论原理,选择合适的软件架构体系,实现本系统完全、可靠、稳定运行,并达到指定的控制效果,那么 SAR 测控系统软件设计就可以转换成软件架构体系的选择问题。

软件架构作为软件开发的结构框架,是软件系统设计和维护的基础。合理的软件架构有助于分析和描述复杂系统的高级属性,简化软件系统的复杂性,既便于软件重用,又便于系统的扩展升级,同时为具体功能模块的设计和实现提供指导性意见。

2 测控系统软件架构设计

根据 SAR 系统组成及任务需求,基于分层递阶控制思想的 SAR 测控系统软件架构如图 1 所示。

从图中可以看出,将各分系统的具体任务需求定义为基本层;将与各分系统进行信息交互的通信接口定义为执行层;将任务的管理和系统功能的实现定义为决策层。

对决策层,根据任务功能的划分,分别建立信息库、故障库和控制库的三库管理策略。信息库管理 SAR 中的所有输入/输出数据;故障库实时检测 SAR 中各分系统的组件故障、接口通信故障和逻辑故障;控制库完成对工作模式及参数设置命令的响应处理。

为完整描述各层在软件体系中的架构特点,采用功能矩阵来表示各分层用途。

对基本层,建立如下功能矩阵:

$$W = [W_k : w_k - T; w_k - R] \quad (1)$$

式中: $w_k - T$ 表示第 k 个分系统输出的信息; $w_k - R$ 表示第 k 个分系统接收的信息。矩阵元素 $w_k - T$ 和 $w_k - R$ 可进一步加以细化,直至能完整地覆盖第 k 个分系统每一个功能点。

对执行层,建立如下功能矩阵:

$$L = [L_1, L_2, L_3, L_4, \dots] \quad (2)$$

式中: L_1 代表串口,可细化为 $[L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots]$, 依次代表串口 1, 串口 2, 串口 3, \dots ; L_2 代表网络,可细化为 $[L_{21}, L_{22}, L_{23}, \dots]$, 依次代表网络 1, 网络 2, 网络 3, \dots ; L_3 代表 TTL 电平,可细化为 $[L_{31}, L_{32}, L_{33}, \dots]$, 依次代表 TTL1, TTL2, TTL3, \dots ; L_4 代表 1553B 总线; 等。

对决策层,其功能矩阵由信息库 A 、故障库 B 和控制库 C 组成。

信息库 A 功能矩阵为:

$$A = [A_k : L_n, w_k - T; L_m, w_k - R] \quad (3)$$

式中 A_k 为第 k 个分系统的信息描述,表示此分系统通过接口 L_n 送出信息 $w_k - T$, 通过通信接口 L_m 接收信息 $w_k - R$ 。

故障库功能矩阵为:

$$B = [F_1(W_k - T); F_2(L_n); F_3(W_m - R)] \quad (4)$$

式中: $F_1(W_k - T)$ 表示第 k 个分系统中组件的故障信息; $F_2(L_n)$ 表示接口 L_n 的通信故障信息; $F_3(W_m - R)$ 表示对分系统 $W_m - R$ 逻辑控制故障信息。

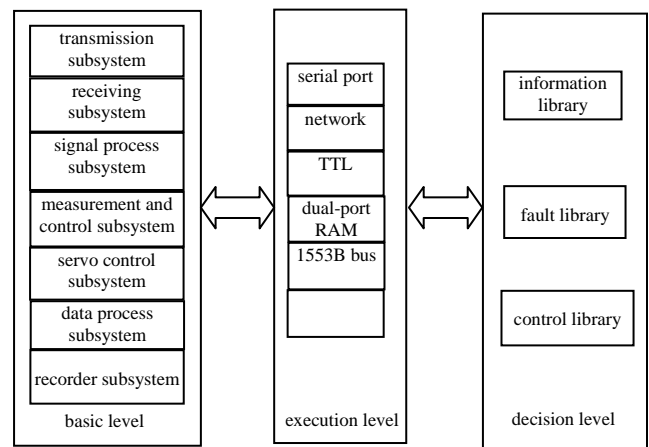


Fig.1 Software architecture of measurement and control system based on hierarchically control

图 1 基于分层递阶控制的测控系统软件架构

控制库功能矩阵为:

$$C = [C_n : W_k - C, L_y, W_k - R] \tag{5}$$

式(5)表示在工作模式为 C_n 下对分系统 $k(k=1,2,\dots)$ 的具体控制。其中 $W_k - C$ 为对分系统 k 的控制准则, 控制路径通过执行层 L_y , 具体的控制针对分系统的 $w_k - R$ 参数。

通过基本层功能矩阵、执行层功能矩阵和决策层功能矩阵表达式的建立, 完成对 SAR 测控系统软件体系架构的规划和功能的分解。

基于分层递阶设计思想建立的 SAR 测控系统软件体系架构, 相比较其他设计方法具有如下优点:

- 1) 通过建立各层具体功能矩阵表达式, 避免对功能实现的遗漏;
- 2) 通过故障库建立系统运行过程中的故障信息管理, 为系统的运行和维护带来便利;
- 3) 通过信息库建立对数据流的分类管理, 可实现数据在线监测、离线分析、问题定位、局部模拟;
- 4) 通过控制库建立对系统运行过程中的流程管理, 可有效梳理运行过程中的逻辑关系, 避免带来隐含的关联动作, 提高系统运行的稳定性和功能的可追溯性。

3 工程应用

以某型 SAR 任务需求为例, 其系统组成及通信描述如图 2 所示。

SAR 工作时序主要需求如下:

- 1) 上电初始化: 设置时序 1 和时序 2; 设置信号处理工作模式为空闲; 设置伺服工作模式为空闲;
- 2) 模式 1: 发射开机;
- 3) 模式 2: 设置伺服平台工作模式为模式 2, 并送入控制角度 1;
- 4) 模式 3: 计算和设置信号处理工作参数 1,2; 计算和设置时序控制 1,2; 设置信号处理工作模式为模式 3;
- 5) 模式 6: 设置时序 1; 设置信号处理工作模式为空闲; 设置伺服工作模式为空闲;
- 6) 模式 4: 设置时序 2; 设置伺服平台工作模式为模式 4, 并送入控制角度 2;
- 7) 模式 5: 计算和设置信号处理工作参数 1,2; 计算和设置时序控制 1,2,3; 设置信号处理工作模式为模式 5。设置伺服平台工作模式为模式 5, 并送入控制角度 2;
- 8) 模式 6: 设置时序 1; 设置信号处理工作模式为空闲; 设置伺服工作模式为空闲;
- 9) 模式 7: 发射关机。

其他需求包括: 定时处理各分系统的工作参数数据; 定时将 SAR 工作过程参数下载到机载设备; 定时形成 SAR 工作是否正常标识并下载到机载设备。

根据系统组成和任务需求, 按照分层递阶设计思想, 各层功能矩阵建立如下:

基本层为:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 : W_{11-T}; W_{11-R} \\ W_2 : W_{21-T} \\ W_3 : W_{31-T}; W_{31-R}; W_{32-R}; W_{33-R} \\ W_4 : W_{41-T}; W_{42-T}; W_{41-R}; W_{42-R}; W_{43-R} \\ W_5 : W_{51-T}; W_{52-T}; W_{51-R}; W_{52-R}; W_{53-R} \\ W_6 : W_{61-T}; W_{61-R}; W_{62-R}; W_{63-R}; W_{64-R} \end{bmatrix} \tag{6}$$

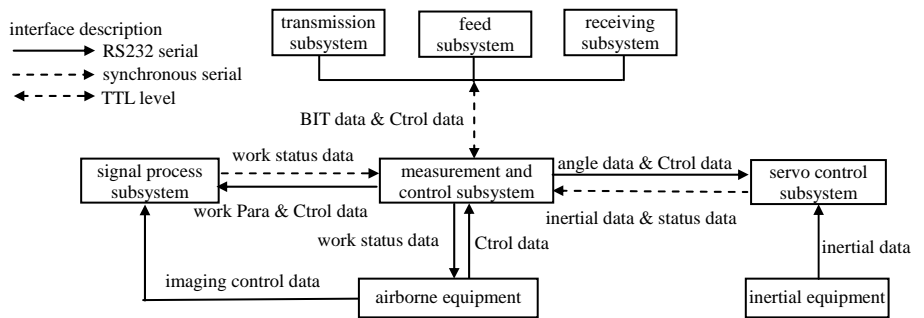


Fig.2 Schematic diagram of the SAR system components
图 2 SAR 系统组成示意图

式中 $W_1 \sim W_6$ 依次代表发射、天馈、接收、信号处理、伺服、机载分系统。记： W_{11-T} = 发射 BIT1 数据； W_{11-R} = 发射控制(W_{111-R} = 开机, W_{112-R} = 关机)； W_{21-T} = 天馈 BIT2 数据； W_{31-T} = 接收 BIT3 数据； $W_{31-R} \sim W_{33-R}$ 依次代表时序设置 1~3； W_{41-T} = 工作状态数据； W_{42-T} = 成像控制参数； W_{41-R} = 工作模式设置(W_{411-R} = 模式 3、 W_{412-R} = 模式 5、 W_{413-R} = 空闲)； $W_{42-R} \sim W_{43-R}$ 依次代表工作参数 1,2 设置； W_{51-T} = 工作状态数据； W_{52-T} = 惯性导航数据； W_{51-R} = 模式设置(W_{511-R} = 模式 2、 W_{512-R} = 模式 4、 W_{513-R} = 模式 5、 W_{514-R} = 空闲)； W_{52-R} = 角度 1 设置； W_{53-R} = 角度 2 设置； W_{61-T} = 控制指令($W_{611-T} \sim W_{617-T}$ 依次代表模式 1~模式 7)； W_{61-R} = 伺服状态数据(= W_{51-T})； W_{62-R} = 信号处理状态数据(= W_{41-T})； W_{63-R} = SAR 工作状态数据； W_{64-R} = SAR 工作是否正常数据(根据故障库中数据进行判断)。

接口层为：

$$L = [L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16}, L_{17}; L_{21}, L_{22}, L_{23}; L_{31}, L_{32}] \quad (7)$$

式中： $L_{11} \sim L_{17}$ 依次代表 TTL 电平 1~TTL 电平 7； $L_{21} \sim L_{23}$ 依次代表异步串口 1~串口 3； $L_{31} \sim L_{32}$ 依次代表同步串口 1~同步串口 2。

决策层 **A, B, C** 3 个库的矩阵描述如下：

信息库 **A** 矩阵定义如下：

$$A = \begin{bmatrix} A_1 : L_{11}, W_{11-T}; L_{12}, W_{11-R} \\ A_2 : L_{13}, W_{21-T} \\ A_3 : L_{14}, W_{31-T}; L_{15}, W_{31-R}; L_{16}, W_{32-R}; L_{17}, W_{33-R} \\ A_4 : L_{21}, W_{41-T}, W_{42-T}; L_{31}, W_{41-R}, W_{42-R}, W_{43-R} \\ A_5 : L_{32}, W_{51-T}, W_{52-T}; L_{22}, W_{51-R}, W_{52-R}, W_{53-R} \\ A_6 : L_{23}, W_{61-T}; L_{23}, W_{61-R}, W_{62-R}, W_{63-R}, W_{64-R} \end{bmatrix} \quad (8)$$

故障库 **B** 矩阵定义如下：

$$B = [W_{11-T}, W_{11-T}, W_{31-T}; F_2(L_{11}), F_2(L_{31}); F_3(W_{4-R}), F_3(W_{5-R})] \quad (9)$$

式中： $F_2(L_{11})$ 为串口 L_{11} 通信故障； $F_2(L_{31})$ 为串口 L_{31} 通信故障； $F_3(W_{4-R})$ 为信号处理逻辑控制故障； $F_3(W_{5-R})$ 为伺服平台逻辑控制故障。

控制库 **C** 矩阵定义如式(10)。

$$C = \begin{bmatrix} C_0 : W_{31-C}, L_{15}, W_{31-R}; W_{32-C}, L_{16}, W_{32-R} \\ L_{31}, W_{413-R} \\ L_{22}, W_{514-R} \\ C_1 : L_{12}, W_{111-R} \\ C_2 : W_{52-C}, L_{22}, W_{511-R}, W_{52-R} \\ C_3 : W_{31-C}, L_{15}, W_{31-R}; W_{32-C}, L_{16}, W_{32-R} \\ W_{42-C}, L_{31}, W_{42-R}; W_{43-C}, L_{31}, W_{43-R}; L_{31}, W_{411-R} \\ C_4 : W_{32-C}, L_{16}, W_{32-R} \\ W_{53-C}, L_{22}, W_{512-R}, W_{53-R} \\ C_5 : W_{31-C}, L_{15}, W_{31-R}; W_{32-C}, L_{16}, W_{32-R}; W_{33-C}, L_{17}, W_{33-R} \\ W_{42-C}, L_{31}, W_{42-R}; W_{43-C}, L_{31}, W_{43-R}; L_{31}, W_{412-R} \\ W_{53-C}, L_{22}, W_{513-R}, W_{53-R} \\ C_6 : W_{31-C}, L_{15}, W_{31-R} \\ L_{31}, W_{413-R} \\ L_{22}, W_{514-R} \\ C_7 : L_{12}, W_{112-R} \end{bmatrix}$$

式中: C_0 表示初始化下工作流程; $C_1 \sim C_7$ 依次代表模式 1~7 下工作流程; $W_{31-C} \sim W_{33-C}$ 依次代表时序 1~时序 3 计算; $W_{42-C} \sim W_{43-C}$ 依次代表工作参数 1~工作参数 2 计算; $W_{52-C} \sim W_{53-C}$ 依次代表角度 1~角度 2 计算。

通过矩阵 W, L, A, B, C 即完成对 SAR 任务需求的划分, 对矩阵 W, L, A, B, C 进行相应的软件编码即完成测控系统软件功能的实现。

4 结论

作为 SAR 的核心调度部分, 测控系统软件管理大量不同类型的数据, 响应用户的命令控制, 实时监测设备运行信息。为加强软件系统快速设计能力, 提高系统的可测性、维护性、继承性, 本文从工程应用角度出发, 提出了一种基于分层递阶设计思想的软件架构设计, 将软件体系划分为基本层、执行层和决策层, 对决策层建立信息库、故障库和控制库的三库管理策略, 并给出各层功能矩阵数学表达式。通过信息库、故障库和控制库, 实现对 SAR 整个信息数据的管理。

参考文献:

- [1] 郭华东, 李新武. 新一代 SAR 对地观测技术特点与应用拓展[J]. 科学通报, 2011, 56(15): 1155-1168.
- [2] 周谷, 宋李彬, 程良平, 等. 基于 VxWorks 的机载雷达模拟吊舱软件设计[J]. 现代雷达, 2009, 31(9): 84-87.
- [3] 贾庆忠, 刘永善, 刘藻珍. 弹载嵌入式系统软件可靠性设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(9-2): 12-14.
- [4] 李巨, 罗永红. 基于 UML 的 UDP 通信仿真测试软件设计与实现[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(3): 336-340.
- [5] 戴宁. 基于智能分层递阶控制的无人直升机控制系统方案研究[J]. 航空科学技术, 2010(2): 37-40.
- [6] 李军, 于守谦, 刘亚斌. 基于软件总线技术的测控系统框架实现[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(8): 849-850.
- [7] 梅杓春, 赵飞龙. 测控领域软件体系结构的发展[J]. 电子测量与仪器学报, 2003, 17(4): 26-31.
- [8] Len Bass, Paul Clements, Rick Kazman. Software Architecture in Practice[M]. 2nd ed. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2003.

作者简介:



黄小波(1976-), 男, 安徽省庐江县人, 硕士, 主要研究方向为浮空器和 SAR 测控系统设计. email: hxb_10ok@163.com.

李俊(1980-), 男, 安徽省霍邱县人, 工程师, 研究方向为雷达数据跟踪.