

# 弹载遥测系统模块划分综合分析方法研究

马丽丽<sup>1</sup>, 张 军<sup>1</sup>, 董兴佳<sup>1</sup>, 王晓峰<sup>2</sup>, 吕彦东<sup>1</sup>

(1 中国人民解放军 63850 部队 白城 137000

2 中国人民解放军驻天津地区军事代表室 天津 300000)

**摘要:** 针对系统模块化设计过程中存在的模块划分问题, 提出对数据流图进行抽象化建模, 得到抽象数据流图, 并对抽象数据流图进行规范化定义, 描述在抽象数据流图基础上进行模块划分的规则。针对具体的弹载遥测系统问题, 利用抽象数据流图和模糊聚类两种方法进行模块划分; 然后计算模块之间总耦合度, 得到相对统一的模块划分方案; 最后通过对系统的分析得到最佳方案。利用方法得到的模块划分方案可以指导弹载遥测系统的构建, 系统的稳定性和数据交互效率得到可靠保证。

**关键词:** 模块划分; 抽象数据流图; 模糊聚类; 耦合度

中图分类号: TP11 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2021)02-0048-06

## Comprehensive analysis method research on missile-borne telemetering system module division

MA Lili<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, DONG Xingjia<sup>1</sup>, WANG Xiaofeng<sup>2</sup>, LYU Yandong<sup>1</sup>

(1. Unit 63850, PLA, Baicheng 137000, China;

2. The PLA Military Representative Office In Tianjin, Tianjin 300000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of module partition in the process of system modularization design, this paper proposes to analyse date flow graph, and erects abstract date flow graph, and then formalizes the definitions and module division rules of abstract date flow graph. For the telemetry system of missile-borne question, abstract date flow and fuzzy clustering are used to divide module; then, calculates the total coupling degree among the modules and obtains a unified module division scheme; finally, the best scheme is obtained through the analysis of the system. The module division scheme obtained by using this method can guide the construction of missile-borne telemetry system, the stability and data interaction efficiency of the system are guaranteed reliably.

**Key words:** Module division; Abstract date flow graph; Fuzzy clustering; Coupling degree

## 引 言

无论是进行产品的硬件系统设计还是软件系统的构建都需要对该系统进行模块化分析, 将整个系统划分为简单的功能单元, 然后通过分析形成模块。好的模块划分有利于分工协作, 有利于设计、仿真、测试, 有利于设计的综合与实现, 有利于减少综合耗时、提高设计效率, 对整个系统的稳定性有着重要的作用。

模块的一个重要特性是功能独立性, 这是模块划分的重要准则<sup>[1-3]</sup>。在进行模块划分时, 必须保证模块之间是相对独立的, 独立包括功能独立和数据流独立, 只有将相互作用的工作节点分到一个模块中才能消除模块之间的相互作用。要实现最优的模块划分, 必须有科学可行的模块划分方法才行, 本文提出利用抽象数据流图划分模块, 再综合模糊聚类分析方法, 最终得到满意的模块划分方案。

## 1 抽象数据流图建模

数据流图 DFD (Data Flow Diagram), 是描述信息流和数据从输入移动到输出时被应用变换的图形技术。数据流图中有加工、数据源/终点、数据存储、数据流四种基本成分<sup>[4]</sup>。数据流图是结构化分析方

法中常用的工具<sup>[5]</sup>。因为数据流图中包含有整个系统需要完成的工作的分解、不同的数据流类型、数据的流向以及转换关系,所以,可以根据数据流图进行抽象化建模。

### 1.1 抽象数据流图定义

数据流图在绘制的过程中是逐层分解最终得到,而对系统进行模块划分则不需要逐层分析,必须在对系统所有流程进行深入分析的基础上进行。此外,数据流图中的加工、数据源/终点、数据存储、数据流这四个基本成分在进行模块划分时不是全部必需,在研究过程中选择可用的留下,无用的去掉,即可得到抽象数据流图。

本文对抽象数据流图进行了如下形式化定义:

定义1:抽象数据流图  $G_{AD}$  可以定义为一个四元组  $G_{AD}=\{V,E,N,R\}$ , 其中:

①  $V$  表示抽象数据流图中的节点,  $V$  是一个非空有限集合。节点即指将系统分解分析后,列出要完成的每一项工作;

②  $E$  表示抽象数据流图中的有向边,  $E$  是一个非空有限集合。边包含两种含义,一是表示了从一个节点到另一个节点的数据流类型;二是表示了数据流的流向;

③  $\psi$  表示抽象数据流图中  $E$  的类型集合,  $\psi$  集合的元素数量为  $N$ ,  $N$  是一个自然数,表示在该抽象数据流图中共有  $N$  种数据流;

④  $R$  表示抽象数据流图中  $E \rightarrow V$  的映射,表示为  $R \in 2^{E \times V}$ , 这里需要强调的是,  $R$  为一个有序映射,  $E$  指向的  $V$  才能与它形成映射。

得到抽象数据流图的定义后在这个定义的基础上做进一步的定义,方便接下来的规则描述。

定义2:在给定的抽象数据流图  $G_{AD}$  中,存在一条链路  $V_1 \rightarrow E_1 \rightarrow V_2 \rightarrow E_2 \rightarrow V_3 \rightarrow \dots \rightarrow E_k \rightarrow V_{k+1}$ , 则该链路称为抽象数据流链;如果,  $E_1 = E_2 = \dots = E_k = \psi_n$ , 即所有的有向边都是同一数据流类型,则称该链为同流链。

定义3:在给定的抽象数据流图  $G_{AD}$  中,如果存在一个节点  $V_i$ ,有  $n$  条有向边始于  $V_i$ ,则称  $n$  为节点  $V_i$  的出度,记为  $d^+(V_i)$ ;由节点  $V_i$  组成的有序映射  $R_i$  的数量  $n$ ,称为节点  $V_i$  的入度,记为  $d^-(V_i)$ 。

定义4:在给定的抽象数据流图  $G_{AD}$  中,节点  $V_i$  与  $V_j$  之间存在抽象数据流链,则称节点  $V_i$  与  $V_j$  之间可达;如果该抽象数据流链为同流链,则称节点  $V_i$  与  $V_j$  之间同流可达。

### 1.2 抽象数据流图模块划分规则

通过对功能独立性原则<sup>[6,7]</sup>的深入研究,总结得到如下功能模块划分规则。

#### ① 同流串联规则

在抽象数据流图中,从某个节点开始,沿着某个固定类型的数据流前进,直到流至另一个节点后,该数据流类型变化了或是该数据流流出了系统,那么可以将该数据流经过的所有节点划分为一个模块。因为数据流的类型一直没有变化,所以可以理解为,这些节点之间是有相互作用的,节点关联度大,应该在同一个模块中。

利用形式化定义描述为:

在抽象数据流图  $G_{AD} = \{V, E, N, R\}$  中,存在一条同流链  $V_1 \rightarrow E_1 \rightarrow V_2 \rightarrow E_2 \rightarrow V_3 \rightarrow \dots \rightarrow E_k \rightarrow V_{k+1}$ , 则该同流链流经的所有节点  $\{V_1, V_2, \dots, V_{k+1}\}$  可以划分为一个模块。

#### ② 同流并联规则

在抽象数据流图中,如果某个节点有多个数据流流出,这些流出的数据流形成了并联的样式;如果这些并联的数据流和节点皆为同流链,那么,这些并联的同流链流经的节点可以划分到同一个模块中。

利用形式化定义描述为:

在抽象数据流图  $G_{AD} = \{V, E, N, R\}$  中,如果某个节点  $V_i$  的出度  $d^+(V_i) \geq 2$ , 从  $V_i$  出去的所有数据流都是同一类型,且形成  $d^+(V_i)$  个同流链,那么,  $V_i$  与这些同流链流经的节点可以划分为一个模块。

从同流串联规则和同流并联规则中可以看出,只有同流链中的节点才能划分到一个模块中。在一条

抽象数据流链中, 如果数据流类型发生了变化, 是不能将该链经过的所有节点划分为同一个模块的。如果存在某个节点连接了两条同流链, 那么就应该对系统功能进行深入分析, 判断该节点应该划分到哪条同流链中。

要想对系统进行模块划分, 首先要分析系统的功能节点和数据流, 然后绘制抽象数据流图, 再按照上述规则执行划分。

### 1.3 弹载遥测功能建模应用

在抽象数据流图的形式化定义和划分规则基础上, 对弹载遥测系统进行抽象数据流图建模, 首先绘制弹载遥测系统抽象数据流图, 对弹载遥测系统进行分析, 整理出系统要一步步实现的功能、数据流类型等, 然后对所有功能节点和数据流编号, 如表 1 所示。整理好所有的节点和数据流, 然后按照逻辑关系, 绘制出弹载遥测系统的抽象数据流图, 如图 1 所示。

根据图 1 和抽象数据流图的模块划分规则, 可以将弹载遥测系统划分为七个模块, 得到如下模块划分方案, 称为方案一:  $\{V_1, V_2, V_3\}\{V_4\}\{V_5, V_6, V_7\}\{V_8, V_9, V_{10}\}\{V_{11}\}\{V_{12}, V_{13}\}\{V_{14}, V_{15}\}$ 。

## 2 模糊聚类模块划分

仅根据抽象数据流图进行模块划分不够精确, 需要综合多种方法最终得到相对精确的、有效的模块划分方案。本文从模糊聚类角度进行分析, 对抽象数据流图方法进行综合评估。

### 2.1 模糊聚类划分方法

模糊聚类分析是一种采用模糊数学语言对事物按一定的要求进行描述和分类的数学方法。

模糊聚类分析的一般步骤可以分为三步: ① 数据标准化 (也叫数据预处理); ② 建立模糊关联度矩阵; ③ 模糊聚类。

数据预处理主要是对待处理的问题进行预处理, 并制定建立关联度矩阵的原则。本文要解决的问题是对某个系统进行模块划分, 那么数据标准化的过程就是首先将整个问题划分为多个功能单元, 然后定义关联度矩阵的取值范围。

根据问题建立模糊关联度矩阵: 关联度矩阵为  $A=\{a_{ij}\}$ , 其中  $i \leq n, j \leq n, n$  为节点数量,  $A$  为  $n$  阶方阵,  $a_{ij}$  表示节点  $i$  和节点  $j$  之间的关联度,  $a_{ij}$  的具体取值可以通过专家打分等方式得到。然后设置权值, 根据关联度矩阵进行聚类分析。

表 1 节点及数据流编码表

节点编号		数据流编号	
节点含义	节点编号	数据流类型	编号
系统输入	$V_0$	模拟信号	1
模拟信号调节	$V_1$	数字信号	2
模拟电气匹配	$V_2$	分频信号	3
A/D 转换	$V_3$	同步信号	4
采样保持	$V_4$	脉冲信号	5
数字信号调节	$V_5$	数据信号	6
数字电气匹配	$V_6$	综合输出信号	7
缓冲	$V_7$		
压缩	$V_8$		
编码	$V_9$		
并/串转换	$V_{10}$		
码率分频	$V_{11}$		
同步信号生成	$V_{12}$		
脉冲信号生成	$V_{13}$		
同步码生成	$V_{14}$		
信号综合	$V_{15}$		
系统输出	$V_{16}$		

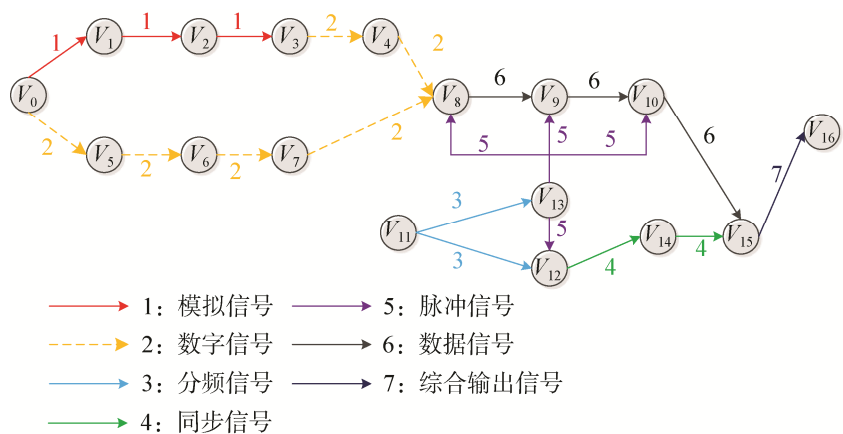


图 1 弹载遥测系统功能抽象数据流图

Fig. 1 The abstract data flow graph on missile-borne telemetering system

### 2.2 弹载遥测模块划分应用

针对弹载遥测问题已经有了如表1的功能单元，设置  $a_{ij} < 1$ ，对表1中15个功能节点进行模糊综合评价，得到节点之间的关联度数值，如果两个节点之间无关联，则关联度数值为0，然后，建立如下的15阶关联矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 0.8 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 1 & 0.8 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & 1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & 1 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.5 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & 1 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.4 \\ & & & & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ & & & & & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.7 & 0.2 \\ & & & & & & & & & & & & 1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.8 \\ & & & & & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

矩阵  $A$  为对角矩阵，所以下三角省略了没有标注，实际在进行聚类时只参考对角矩阵的一半进行。采用模糊聚类分析，取权值为0.5，可得到如图2的功能聚类图，根据图2能够得到多个模块划分方案。

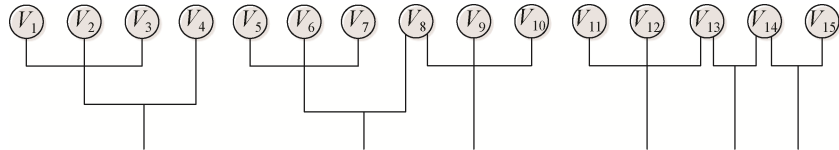


图2 弹载遥测功能聚类图

Fig. 2 The dynamic state function clustering graph on missile-borne telemetering system

### 3 模块划分综合分析

通过前面两节的分析可以看出，利用抽象数据流图能够得到一个方案，而利用模糊聚类也能够得到模块划分方案，而且得到的不止一个。如何确定最佳方案并遵循该方案进行系统设计，需要进行更加细致的分析。

为了对该问题进行定量化分析，本文引入耦合度的概念。设某模块划分方案有  $m$  个模块，第  $i$  个模块由  $n_i$  个子功能构成  $\{V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in_i}\}$ ，则该划分方案的模块与模块之间的总耦合度为<sup>[8,9]</sup>

$$J = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \sum_{p=1}^{n_i} \sum_{q=1}^{n_j} (1 - a_{i_p, j_q}) \tag{1}$$

式中， $a_{i_p, j_q}$  表示第  $i$  个模块中的第  $p$  个子功能与第  $j$  个模块中第  $q$  个子功能的相关度， $a_{i_p, j_q}$  的取值来自模糊关联矩阵  $A$ 。

根据式(1)计算出，基于抽象数据流图得到的方案总耦合度与基于模糊聚类方法得到的方案的耦合度，然后查找基于模糊聚类方法得到的方案中，哪个方案与基于抽象数据流图得到的方案的耦合度最接近，即可寻找到相对统一的模块划分方案。

通过计算，方案一  $\{V_1, V_2, V_3\}\{V_4\}\{V_5, V_6, V_7\}\{V_8, V_9, V_{10}\}\{V_{11}\}\{V_{12}, V_{13}\}\{V_{14}, V_{15}\}$  的耦合度为87.4。

根据图 2 弹载遥测动态功能聚类图可以得到多个聚类方案,其中方案 $\{V_1, V_2, V_3\}\{V_4\}\{V_5, V_6, V_7\}\{V_8, V_9, V_{10}\}\{V_{11}, V_{12}, V_{13}\}\{V_{14}, V_{15}\}$ 的耦合度为 87.9,称为方案二,是和方案一耦合度最接近的方案。

对两个方案进行具体的分析,可以看出两个方案不同的地方在于对功能 $V_{11}$ 的划分。从系统总体功能来分析,码率分频是为了同步信号生成和脉冲信号生成服务的,与 $V_{12}$ 和 $V_{13}$ 关系密切,所以应该参照方案二的划分方法,将 $V_{11}, V_{12}$ 和 $V_{13}$ 划分为一个模块。此外,虽然方案一和方案二都将 $V_4$ 独立划分为一个模块,但是分析可以发现,虽然信息流经过 $V_3$ 以后有所改变,但是 $V_4$ 是承接前三个功能的,应该将 $V_4$ 与 $V_1, V_2, V_3$ 划分为一个模块。

最终得到弹载遥测系统模块划分方案为: $\{V_1, V_2, V_3, V_4\}\{V_5, V_6, V_7\}\{V_8, V_9, V_{10}\}\{V_{11}, V_{12}, V_{13}\}\{V_{14}, V_{15}\}$ ,共分为五个模块。

按照表 1 中各节点含义对五个模块功能进行分析可见, $\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ 四个节点都是进行模拟量处理的,所以组成的该模块确定为“模拟量采集模块”; $\{V_5, V_6, V_7\}$ 三个节点处理数字量,所以确定为“数字量采集模块”; $\{V_8, V_9, V_{10}\}$ 三个节点完成数据帧的形成,所以确定为“组帧模块”; $\{V_{11}, V_{12}, V_{13}\}$ 三个节点处理时间信号,所以确定为“时钟产生模块”; $\{V_{14}, V_{15}\}$ 两个节点是对形成的数据帧进行处理,并生成 PCM 码,所以确定为“PCM 输出模块”。

根据实际工作中五个模块的运行顺序和交互关系,其模块关系如图 3 所示。

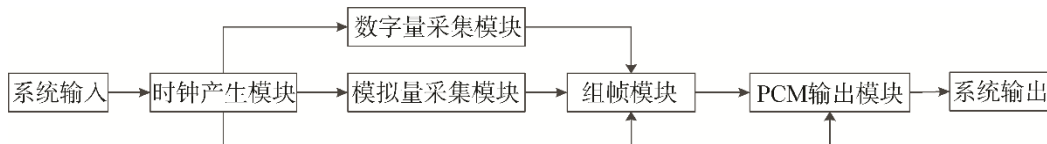


图 3 弹载遥测系统模块划分

Fig. 3 The module division of missile-borne telemetering system

#### 4 结束语

本文分析了数据流图的结构和使用情景,并对数据流图进行抽象处理,得到抽象数据流图,然后对它进行了形式化的定义,并制定了在抽象数据流图基础上进行模块划分的规则,根据这些规则可以得到系统的模块划分方案。但是,为了得到更加科学有效的模块划分方案,本文针对弹载遥测系统利用抽象数据流图和模糊聚类两种方法进行了模块划分,再根据模块之间总耦合度得到了两种划分方法中最相似的方案,最后通过对系统功能的深入分析可以得到最佳划分方案。在进行弹载遥测系统设计时,利用该模块划分方案构建系统,有效地保障了系统的稳定性和数据交互效率。本文的模块划分综合分析方法应用简单、高效,结果科学合理,对模块划分有着重要的指导性作用。

#### 参考文献

- [1] 汪文虎, 陈荣, 蒋睿嵩, 等. 精铸模具参数驱动模块化设计方法研究[J]. 现代制造工程, 2009(6): 57-60.  
WANG Wenhui, CHEN Rong, JIANG Ruisong, et al. Research on the parameter-driven modular design method of investment casting mold[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009(6): 57-60.
- [2] 李浩. 广义产品模块划分与融合的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.  
Li Hao. The key technologies of module partition and fusion for the generalized product[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [3] HAMRAZ B, CALDWELL N H M, RIDGMAN T W, et al. FBS linkage ontology and technique to support engineering change management[J]. Research in Engineering Design, 2015, 26(1): 3-35.
- [4] 白岚, 凌秀琴. 数据流图在信息处理中的应用[J]. 光电技术应用, 2005, 20(6): 64-67.  
BAI Lan, LING Xiuqin. Application of the data flow diagram in the information processing[J]. Electro-optic Technology Application, 2005, 20(6): 64-67.
- [5] 庞存辰, 李培志, 倪斌斌. 基于详细设计信息的数据流图生成方法研究[J]. 航空计算技术, 2017, 47(6): 97-100.  
PANG Cunchen, LI Peizhi, NI Binbin. Research on data flow diagram generation method based on detailed design

- information[J]. Aeronautical Computing Technique, 2017, 47(6): 97–100.
- [6] STONE R B, WOOD K L, CRAWFORD R H. A heuristic method for identifying modules for product architectures[J]. Design Studies, 2000, 21: 5–31.
- [7] 高飞, 肖刚, 潘双夏, 等. 产品功能模块划分方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(5): 29–35.  
GAO Fei, XIAO Gang, PAN Shuangxia, et al. Method of product function module partition[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(5): 29–35.
- [8] 高飞. 面向大批量定制的产品设计方法学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.  
GAO Fei. Research on product design methodology for mass customization[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.
- [9] 方晓耿, 谌炎辉, 谢国进. 模块划分的多目标评价方法研究[J]. 广西科技大学学报, 2017, 28(4): 119–123.  
FANG Xiaogeng, CHEN Yanhui, XIE Guojin. Research on multi-objective evaluation method of module partition[J]. Journal of Guangxi University of Science and Technology, 2017, 28(4): 119–123.

#### [作者简介]

- 马丽丽 1984年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为遥测测试。  
张 军 1976年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为遥测测试。  
董兴佳 1988年生, 学士, 工程师, 主要研究方向为遥测数据处理。  
王晓峰 1984年生, 学士, 工程师, 主要研究方向为电子工程。  
吕彦东 1982年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为数据实时处理。