

Petri 网模型与程序流程图的比较及应用研究

张 力^{1,2}, 赵宗涛^{1,2}, 慕晓冬², 刘鑫昌²

(1. 西北大学 计算机科学系, 陕西 西安 710069;

2. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘 要: petri 网是一种描述具有分布、并发、异步特点的信息流的系统模型, 已得到了广泛的应用; 程序流程图是依据算法描述问题求解过程的图解表示, 是使用数字计算机求解问题的必要步骤。如何进行相互转换是应用中所关心的一个突出问题。文中对二者先做形式上的比较研究, 分析它们的特点和异同, 从中找出一些规律, 用以归纳相互转换的方法要点。最后, 通过实例分析来阐述转换的算法。

关键词: petri 网; 程序流程图; 比较转换

中图分类号: TP302.7

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)06-0150-03

Comparison and Application Study of Petri Net and Flowchart

ZHANG Li^{1,2}, ZHAO Zong-tao^{1,2}, MU Xiao-dong², LIU Xin-chang²

(1. Department of Computer Science, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Petri net is a kind of system model which describes the distributed, concurrent, and information flow, and has been applied extensively; flowchart is a kind of diagram which describes the process of solving problems according to algorithm, it is the necessary step for solving problems with computer. How to make transformation between them is a prominent problem in application. This paper compares them first, then analyses their differences and sameness, finds out some laws from the analysis to sum up the method of transforming. At last, expounds the transforming algorithm through the example.

Key words: petri net; flowchart; comparison and transformation

0 引言

petri 网是一种描述系统的图形分析工具, 对于具有并发、异步分布等特点的信息处理系统, 都可以利用这种工具抽象其 petri 网数学模型, 而后再进行分析。程序流程图是依据算法用图形的方法来表达求解过程, 是应用计算机求解问题、进行程序设计的一个必需步骤。近年来, 人们在研究信息系统的过程中, 例如, 军事指挥 C³I 系统、工作信息流等, 都会遇到并发的信息流的管理, 为了深入对其研究, 往往首先设法抽取其数学模型, 以为后续研究创造条件。如何进行 petri 网模型与程序流程图的相互转换, 是一个全新的重要课题。文中首先研究比较二者的异同, 力图从中找出一些规律, 借以指导转换研究。

1 petri 网与程序流程图的比较

1.1 petri 网的特点

关于 petri 网与程序流程图的比较, 从理论上进行研

究的不很多, 但在文献[1]中, 作者有不少论述, 见解非常深刻。结合工作实际, 笔者用 petri 网的理论方法成功地抽取了一个作战指挥系统的数学模型, 有效地指导了该系统的效率评估和死锁分析。为了进一步开发该系统的功能, 迫切需要从 petri 网的系统描述中找到转换成程序流程图的方法, 或由流程图综合出描述系统的 petri 网模型。

petri 网具有如下特点:

① petri 网主要用以描述并发与异步控制系统^[2]。所谓并发是指在相同的时间段内同时发生多个事件; 异步控制是指在控制系统中, 一个事件或动作的发生需要等待另一个事件执行的结果, 即在整个系统中, 事件或动作的发生不是预先安排在时间表中的。在 petri 网系统中不存在全局共享的时钟, 因而无法实现全局控制的同步。

② petri 网所描述的系统中没有中央控制, 只有局部控制。这符合 petri 网尊重自然规律的特点。在并发的大型控制系统中, 事件的相互依赖关系错综复杂, 同步与异步互存。只有局部控制而无中央控制, 这是符合实际的。

③ petri 网中的信息流所描述的对象注重事件与事件发生的条件。所谓事件, 在 petri 网中主要是指在宏观上的一次任务, 例如, 生产流水线上每个环节的部件组装, 或 workflow 分析中的某个具有独立意义的业务等; 所谓事件发

收稿日期: 2005-09-27

基金项目: 总装 15 预研项目(413270204)

作者简介: 张 力(1965-), 女, 陕西西安人, 博士研究生, 研究方向为计算机软件理论; 赵宗涛, 教授, 博士生导师, 研究方向为指挥自动化。

生的条件是指驱动事件发生所必需的逻辑条件。例如生产线上组装事件所需部件形成并到位,才能完成组装这一事件。

④ petri 网中所加工的信息状态元素只记个数,为非负的整数。往往它们所表征的是一次事件、一个条件、一个具体的产品部件。也就是说,petri 网不加工或不传输其他数值变量。

1.2 程序流程图的特点

程序流程图的特点如下:

① 程序流程图是为求解问题所设计的计算机工作程序步骤^[3],它主要体现算法与数据结构的要求。在程序执行的过程中,基本上是依据冯·诺伊曼的计算机结构思想,工作过程是属于同步型的中央控制。在应用多 CPU 计算机的系统中,往往包含有并发执行过程和异步控制。

② 程序流程图实质上是反映描述系统数学模型解算的一种图形表示^[4],可给程序编写人员提供一种直观的工作顺序,也就是说,它表达的形式模型就是某个具体数学模型,尽管算法不同,其流程图有所差别,只是反映出算法复杂度有所不同而已。

③ 从软件工程的角度来说,程序流程图在逐步加工细化后必须体现求解步骤的若干细节,甚至往往对应到指令一级。只有这样,程序员才能编写程序,上机计算。但总体说来,它只是一个计算任务。

④ 程序流程图的信息流是变量所取的数值,其范围可能包括整个实数;数据,依据算法必须要有数据结构。

1.3 petri 网与程序流程网的区别

综上所述,petri 网与程序流程图虽然都是一种图形表示工具,但它们根本的区别是:

① petri 网是从较高的层次上来描述一个控制系统的动态性能;程序流程图是从较低的层次上来描述求解问题的方法步骤,是反映一个控制系统数学模型的另一种表达。petri 网的信息流所表达的整数量是反映系统动作的逻辑条件或任务的代号;程序流程图的信息流所表达的是变量的数值或逻辑条件。

② petri 网长于描述并发的控制系统;程序流程图只有在多 CPU 并行工作的情况下,才能反映整个系统的并发功能,在单 CPU 工作的情况下,虽然可以通过分时来并行处理数据流,但实际上是串行的。

③ 关于局部与全局的控制问题,可这样理解:petri 网尊重于自然发展的人文思想,它只有局部控制而无中央统一控制;程序流程图在普遍应用和广为发展的计算机网络时代,在足够大的系统内往往是分布控制的,包含有局部控制。

2 弹道式导弹飞行控制系统分析

弹道式导弹是靠预先设计的弹道来飞行的。其控制系统是通过一系列的仪器仪表测量一些变量的实时值,再与预先装订的弹道数据进行比较,再驱动执行机构来完成

飞行任务。描述导弹飞行的一组变量,往往多达数十个,它们的关系可用一组常微分方程来描述。在飞行过程中,弹载计算机一般是多个 CPU 的并行系统,可对方程组实施并行积分,求得某个时刻各个变量的值,通过执行机构来控制飞行。

飞行数学模型形式如下:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = f_1(y_1, y_2, \dots, y_n, t) \\ \frac{dy_2}{dt} = f_2(y_1, y_2, \dots, y_n, t) \\ \dots \\ \frac{dy_n}{dt} = f_n(y_1, y_2, \dots, y_n, t) \end{cases}$$

其变量初始值如下:

$$\begin{cases} y_1|_{t=0} = y_{10} \\ y_2|_{t=0} = y_{20} \\ \dots \\ y_n|_{t=0} = y_{n0} \end{cases}$$

其中: y_1, y_2, \dots, y_n 是代表系统动态性能的一些变量,诸如导弹飞行速度 v , 坐标 x, y, z , 推力 w 等; f_1, f_2, \dots, f_n 为右函数的表达式; $y_{10}, y_{20}, \dots, y_{n0}$ 为起飞时各变量的初始值。

解算这组数学模型是用数值积分的方法。亦即将飞行时间 t 所经历的全段飞行时间分成离散的若干小段 Δt , 通常用步长 h 表示,在每一小段的积分中,计算右函数的数值时,采用上一步所得的变量的值,一步步可计算在其它任何时间间隔的所有变量的值。根据上述算法,弹载计算机可并行实时计算 n 个方程,求得控制系统 y_1, y_2, \dots, y_n 的值。在积分下一步之前,控制系统要比较各处理机是否完成各自的计算任务,若完成,再给出信号进行下一轮计算。

图 1、图 2 是用龙格-库塔方法转阿当姆斯数值积分法求解弹道方程的程序流程图^[5],其四阶显式公式为:

$$y_{i+1} = y_i + h(55f_i - 59f_{i-1} + 37f_{i-2} - 9f_{i-3})/24$$

其中, $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 。

由此可见,该系统是一个实时并发异步控制系统,其计算见程序流程图。现做如下说明:其中流程图 1 为积分方程 1 在时间 t 时 $y_1(t)$ 的值,计算时是将 t 的值分为 n 段,步长为 h 。

整个系统解算方程组的流程图可简略成如图 3 所示:
* 框的含义为:当要求 $t = t_0$ 时,须将这以前的时间段分成若干小段 Δt ,对方程组实施积分若干遍,才能完成;
** 框的含义为:在主动段飞行期间,还要周而复始地分步对方程组进行数值积分,直至飞完主动段。

经过归纳分析,图 3 的 petri 网表达如图 4 所示, t_{2n+3} 表示 n 个方程算完, T_{2n+4} 积分到 t_0 点, T_{2n+5} 主动段未飞完。

一般,计算第 n 个方程的流程图如图 2 所示。

对照前述导弹飞行模型程序流程图的制作和相应的 petri 网模型的表达,对它们之间的对应关系,可以用下述的步骤来表述,对于它们之间数学形式的对应关系,将另做研究。

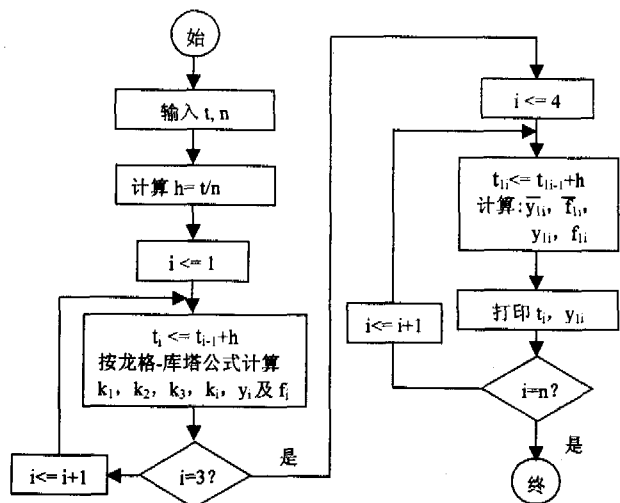


图 1 求解第 1 个弹道方程的程序流程图

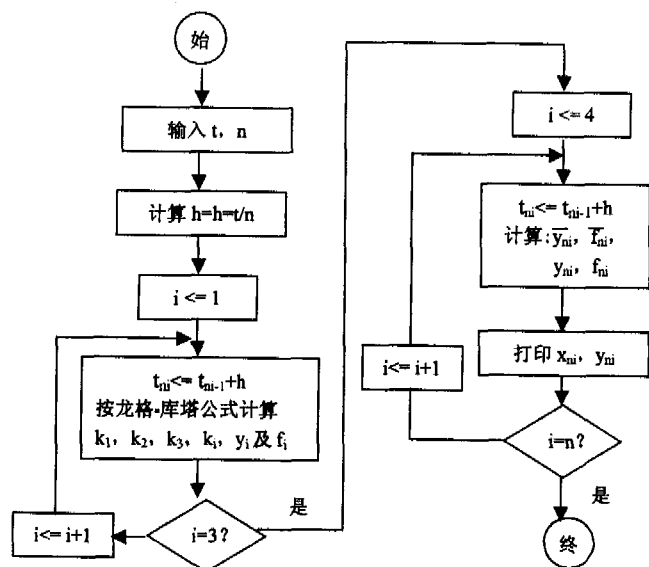


图 2 求解第 n 个弹道方程的程序流程图

* 由程序流程图到 petri 网图的变换可通过以下步骤来实现:

Step1: 先将程序流程图进行规范化的整理,将输入输出模块独立命名;将数据加工计算模块根据其计算的性质分成若干独立的块,并进行命名,例如,完整的顺序型、循环体结构、子程序、数据定义等,对管理模块按职能大小分成若干子块,例如,具有动态执行后管理功能、具有确定逻辑功能的判断和逻辑条件本身等。整理完后,重新界定程序流程图的结构。

Step2: 根据第一步所定义的几个独立模块的功能,来定义 petri 网的状态、转移、信息流方向及流量控制、流量(托肯)等。状态:对应于程序中时间 t 某个模块具有确定数量值或状态;转移:一个

程序模块连同它的数据结构的一次动态执行,其执行结果只能是 0 或 1;托肯:表达一种资源的数量,例如,组件的数量或条件的数量;信息流方向:通常用箭头表示,相当于程序流程图中执行的顺序。

Step3: 根据程序流程图所加工的数据流的方向,从主加工开始,来绘制 petri 网图,顺序是从里到外,先静态后动态,先局部后全体。

Step4: 检验评估,先检验静态,例如,检验 petri 网中各状态及其它们之间的关系是否和流程图一致;动态检验就是选择有代表性的路径来检查转移事件执行后的结果与

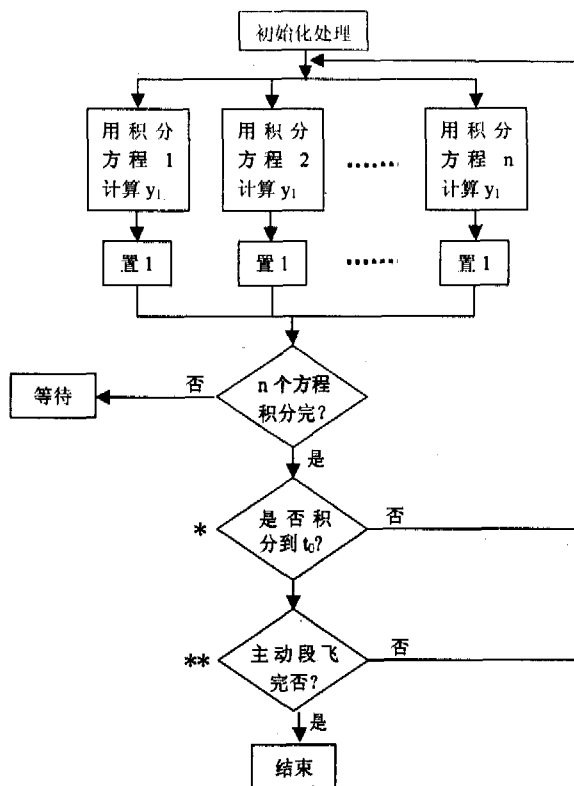


图 3 整个系统解算方程组的流程图

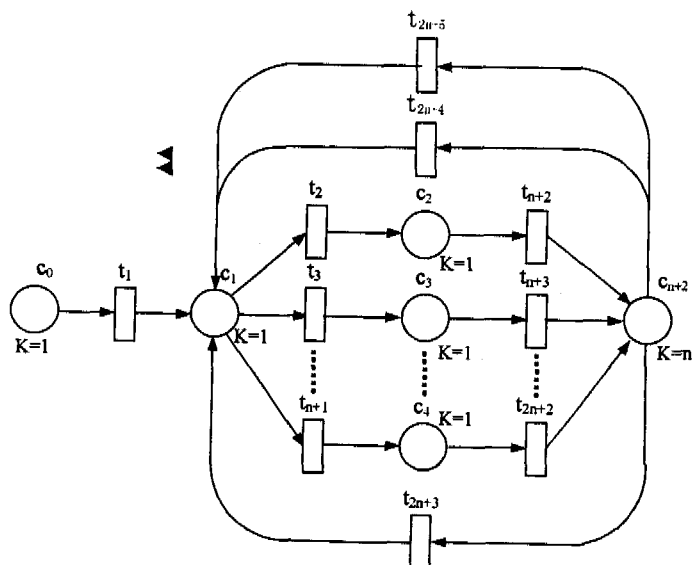


图 4 petri 网表示

流程图是否一致,动态检查关键是路径选择;对上述二者的检验,根据其权重的大小给出定量评估的公式。

* 由 petri 网到程序流程图的转换的步骤如下:

Step1:将状态定义成取整值的计数程序块或硬件计数器,是明显与此相关联的事件执行后的状态或结果。

Step2:由 petri 网所表述的关系映射成数据流程图中的箭头。

Step3:转移的分解与综合,依据将要依托的硬软件资源,包括 CPU 的类型及软件工具模块等,细化到用某种语言能够解释的程度。一般地说,转移里所包含的信息加工是属于简单的计算的,这就变成流程图中的顺序框,需要复杂循环计算的转换成循环程序块;信息加工需要在后面反复使用的将其独立成程序块;若转移是属于逻辑条件的形成和加工的,转换成条件分支计算程序块。数据定义:数据的格式,规定的数据结构的,一般定义成数组。

Step4:重点检查条件是否是 petri 网中的分析判断,生成的结果是否是逻辑值 0 或 1,其次是检查循环计算是否是 petri 网中的独立的事件(转移),而输入状态相当于 petri 网中的源转移,所谓源转移是指一个没有让任何输入位置的转移;输出状态相当于 petri 网中的潭转移,所谓潭转移是指一个没有让任何输出位置的转移。

3 结 论

通过对航天器飞行模型的分析计算和所引发的并行

动态多信息流控制系统的讨论,说明用 petri 网表示和程序流程图表示具有很多相似之处;进而说明研究两种类型网络转换的实际意义,petri 网模型易于表达系统的并发信息流的逻辑关系,简洁明了,但不易指导人们编写计算机程序流程图,而程序流程图主要是用来对信息流进行分析计算,不容易让人们直观地了解系统的并发机制和逻辑关系。

文中详细讨论了二者的特点及相互转换的规律,明确给出了相互转换的步骤。这些理论和实践对编写飞行控制与作战指挥软件有积极的指导意义。

参考文献:

- [1] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [2] Girault C, Valk R. 系统工程 Petri 网——建模、验证与应用指南[M]. 王生原等译. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [3] 杨文龙, 古天龙. 软件工程[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [4] Schooman M L. Software Engineering Design, Reliability, and Management[Z]. [s. l.]: Halliday Lithograph Corporation, 1983.
- [5] 袁 慰, 张令敏, 黄新芹, 等. 计算方法与实习[M]. 南京:东南大学出版社, 1991.

(上接第 149 页)

表 3 JPEG 攻击结果






质量因子	100	80	60	40	20
提取水印					
PSNR	38.26	26.16	23.88	21.50	18.13

表 4 Gaussian 及 Salt & pepper 噪声攻击结果








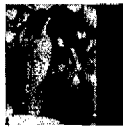






噪声强度	Gaussian			Salt & pepper		
	0.001	0.003	0.06	0.005	0.1	0.2
提取水印						
PSNR	24.49	19.79	18.46	23.44	21.79	20.00

表 5 剪切攻击结果

剪切后的含水印图像				
提取水印				
PSNR	18.65	20.95	23.18	20.70

参考文献:

- [1] 王向阳, 杨红颖, 赵 岩, 等. 基于人眼视觉特性的自适应空域彩色图像数字水印算法[J]. 辽宁师范大学学报, 2004, 27(2): 161-165.
- [2] Yang S H, Chen H C. Bit-plane Watermarking for Zerotree-coded Images[A]. IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS'02)[C]. Bali, Indonesia: [s. n.], 2002.
- [3] 石培新, 王 颖. 一种带纠错编码的小波零树基图像水印算法[J]. 计算机应用, 2004, 24(8): 124-126.
- [4] 孙圣和, 陆哲明, 牛夏牧, 等. 数字水印技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 176-177.
- [5] 方 征, 刘文波. 基于小波提升和纠错编码的数字水印算法[J]. 仪器仪表用户, 2004, 11(4): 78-81.
- [6] 宋 琪, 朱光喜, 李 宁. 基于整数小波变换的灰度图像水印技术[J]. 计算机工程与应用, 2004(6): 54-62.