

基于 UML 的软硬件协同设计的模型分析方法*

陈思功⁺, 秦 晓, 章恒翀

(中国科学院 软件研究所, 北京 100080)

A UML-Based Model Analysis Method in Hardware-Software Codesign

CHEN Si-Gong⁺, QIN Xiao, ZHANG Heng-Chong

(Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

+ Corresponding author: Phn: 86-10-62570007 ext 626, E-mail: pchen@lsl.com

<http://www.ios.ac.cn>

Received 2001-08-13; Accepted 2001-12-19

Chen SG, Qin X, Zhang HC. A UML-based model analysis method in hardware-software codesign. *Journal of Software*, 2003,14(1):103~109.

Abstract: In this paper, a UML approach applied in the CBC (constraint-based codesign) of embedded systems, which is presented by Chonlameth Arpikanondt, is analyzed. Some deficiencies of the method when it is applied in the complicated embedded systems codesign are proposed. According to these deficiencies, the meaning of constraint is extended, and a solution is proposed to improve the efficiency in hardware/software codesign and is explained in detail with the example of mart phone system, which is developed by the Institute of Software, the Chinese Academy of Sciences.

Key words: UML; CBC (constraint-based codesign); constraint; constraint weight

摘 要: 详细分析了 Chonlameth Arpikanondt 提出的基于 UML 约束的嵌入式系统的软、硬件协同设计方法 (CBC/UML), 并指出了它运用于复杂的嵌入式系统设计时的不足. 针对这些不足, 扩展了约束的概念, 提出了一套相应的改善方法. 并利用中国科学院软件研究所研制智能电话机的例子具体阐述了该解决方法.

关键词: UML; 基于约束的协同设计; 约束; 约束权值

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

随着手机、PDA、智能家电等众多嵌入式产品的广泛应用, 涉及软件和硬件的嵌入式系统的协同设计近年来得到了广泛的关注. 软硬件协同设计的过程通常包括选择、划分、规划、通信这 4 个主要任务. “选择”的目的是分析、选择出实现系统功能所需的功能模块; “划分”则划分出这些功能模块中哪些可以由软件实现, 哪些可以用硬件实现; “规划”是合理地提炼功能模型, 尽可能地避免各种时间响应冲突、硬件资源冲突; “通信”则是保证各个软硬模块之间合理的交互通信^[1-3].

在完成协同设计的任务时, 开发者会留下许多的文档, 如设计说明文字、图表等. 这些文档资料通常不是用正规的建模语言书写的, 不能够充分体现 HW/SW 的协同设计的环境, 特别是无法在选择系统模型时提供正规化的分析方法. 美国佐治亚理工学院 Chonlameth 等人提出在协同设计中基于约束的设计方法 (constraint-based

* 第一作者简介: 陈思功(1978—), 男, 福建福州人, 硕士, 主要研究领域为嵌入式系统设计, 软件工程.

codesign)里引入 Unified Modeling Language^[4],给协同设计提供了一个良好的设计方法,非常有意义.

但是,我们仔细研究了 Chonlameth 的 CBC/UML 方法之后,发现该方法依然有其不足之处,需要改进.主要不足之处有以下两点:

首先,Chonlanmeth 在嵌入式系统设计中利用“用例”工具进行系统初步分析,转化成活动图,并在活动图的每一步提炼过程中紧密接和约束的概念,体现了 UML 语言对于协同设计的优点.但事实上,这个分析方法对于 Chonlanmeth 的例子而言是足够的(在某些硬件的条件下,求出在 $Y=0$ 时,方程 $Y=a*X^2+b*X+c$ 的解).但是,对于大多数较为复杂的嵌入式系统的设计,活动图的作用就显得不够了.因为活动图主要适用于表示串行流控制,不适合显示对象间的合作并显示对象在其生命周期里的运转情况^[5,6].活动图虽然在描述嵌入式系统时也是有用的,但不如顺序图和合作图能够更好地反映嵌入式系统的特点.对于约束、活动图、顺序图等 UML 中的重要概念,本文不再赘述,请读者查阅 UML 白皮书(www.rational.com).

另外,Chonlameth 提出的 CBC/UML 方法,根据协同设计的特点,扩展了约束的概念,诸如硬件模块、时钟限制等都将作为系统的约束出现.其不足之处在于,它没有衡量不同约束对于系统实现的影响程度,而把各种约束看成是固定的、对系统实现的影响程度没有差别.然而在协同设计的很多情况下,仅将硬件模块看成约束并不合理,可能会约束开发者的设计思路.在嵌入式系统协同设计的划分/规划过程里,一般会有 3 种可能的设计过程,如图 1 所示^[7].在图 1(b)、(c)两种情况下,系统设计人员就需要时常根据各个约束对系统设计影响程度的不同来调整硬件模块结构,因此硬件模块就不可以简单地看做是某种固定的约束.

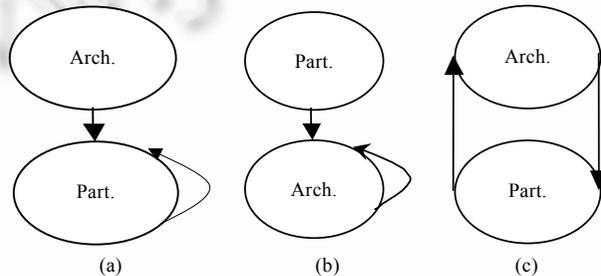


Fig.1 Possible scenarios of the codesign process

图 1 协同设计中可能的过程

针对以上两点,我们将对 Chonlanmeth 的 CBC/UML 方法作出相应的改进,并结合中国科学院软件研究所研制智能电话的协同设计过程,详细阐述我们的方法.特别是将改进后的方法应用到系统协同设计中的一个重要步骤——系统模型的分析选择——在实践中收到了良好的效果.

1 CBC/UML 方法

在嵌入式系统的协同设计中引入 UML 语言的主要原因有以下几点:

(1) UML 已经成为一个得到包括 Compaq,IBM,Intel,Microsoft,Sun 等众多知名大公司在内的广泛接受的标准,被 OMG 组织强烈推荐为面向对象的产品研发过程中标准的建模语言.

(2) 面向对象的、图形化的建模语言,“用例”等概念给系统的需求分析带来便利.

(3) 合作图、顺序图、活动图等概念,给实时的嵌入式系统的设计带来便利.

(4) UML 中的一个重要组成部分,对象约束语言(object constraint language)利用文字标记可以用来清晰、准确地描述 UML 基本图例所无法说明的状态属性.

CBC/UML 方法的核心是利用 UML 中约束的概念,利用 UML 建立协同设计中各个时期的系统模型,同时利用约束来推动整个协同设计的进程.当所有的约束都用软件模块或硬件模块实现的时候,就完成了协同设计^[4].

2 智能电话设计中的模型分析

2.1 系统简介

智能电话是综合运用现有的较为成熟的数字通信技术、PDA 技术、CTI 技术、Internet 技术而开发的新一代电话产品,意在填补当前市场的空白。习惯使用台式程控电话的用户通过该产品,不仅可以自动拨打电话,自动记录来电、本地录音和电话留言,同时也可以处理个人信息,并可以通过内嵌的 MODEM 拨号上网。

2.2 系统分析

在系统分析这一阶段,我们依照 Chonlanmeth 的方法画出该系统的用例图,同时初步给出系统的约束,如图 2 所示。

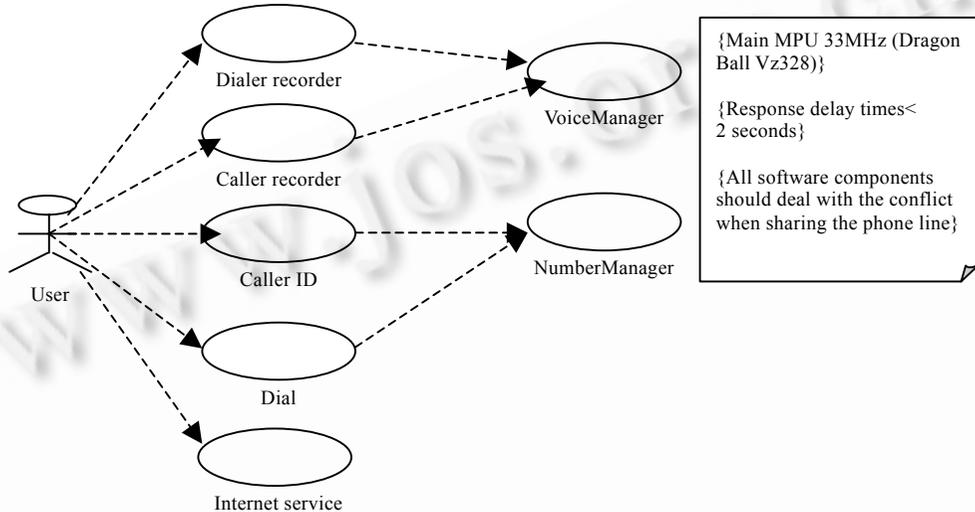


Fig.2 Smart phone system analysis with use case

图 2 智能电话系统用例分析

当前市场个人信息管理的技术基本上可以说是相当成熟,而对于嵌入式设备的 Internet 接入功能,多家的 OS 也有相应的支持,如我们挑选分析中的 UNCLUS,内嵌有 SNMP,PPP,TCP/IP 等协议。本系统的关键技术是实现个人信息管理系统对电话资源的控制及管理(如来电、去电、留言、录音等)。

在该系统中,重要的系统硬件资源有个人信息管理系统主芯片(MPU)、程控电话主芯片(MCU)、调制解调器,三者必须得到合理的调度。另外一个重要的独占式硬件资源是电话线路(对于一般用户而言,一条电话线只有一个号码)。我们可以利用 UML 中类的概念来体现这些重要资源,其他相关的硬件资源还有 RS232 接口、总线、内存等。从现有的技术角度,我们提出了 3 种解决模型:模型 A、模型 B 和模型 C,如图 3 所示。

2.2.1 模型分析方法及相关概念

在模型 A 中,PDA 和电话是个相对独立的模块,不能满足我们的要求,较早地被排除了,我们将在模型 B 和模型 C 上分析系统的功能。我们利用 UML 技术中的协作图的概念来完成这个工作。协作图描述了系统中对象的上下文(一组对象及对象间的关系)和对象间的交互,说明对象间如何通过协作来完成某一任务,能够说明参与交互的活动对象和静态对象的结构^[5,6]。硬件模型是否适合满足系统需求的标准:硬件模块不在作大规模调整的情况下(主要考虑到价格因素),基本能够实现软件模块功能。

由于 UML 建模使用了大量的图形化工具,虽然可以十分形象地表述系统的体系结构,但是图形化的标记会随着系统设计的深入,迅速变得相当复杂,即使使用了 OCL 语言的文字标记,系统设计人员依然容易陷入大量的图表、标记之中。

这种建模及分析方法不能在系统设计人员选择模型时提供有效的判断标准。因此在这里,我们引入软约束(soft constraint)、硬约束(hard constraint)、约束权值(constraint weight)这 3 个概念。软约束是指可以用某种软件

模块实现解决的约束;硬约束则是指需要对硬件模块进行调整才能够解决;约束权值用来量化单个约束对系统实现的影响,约束权值越大,该约束对系统实现的影响就越大。

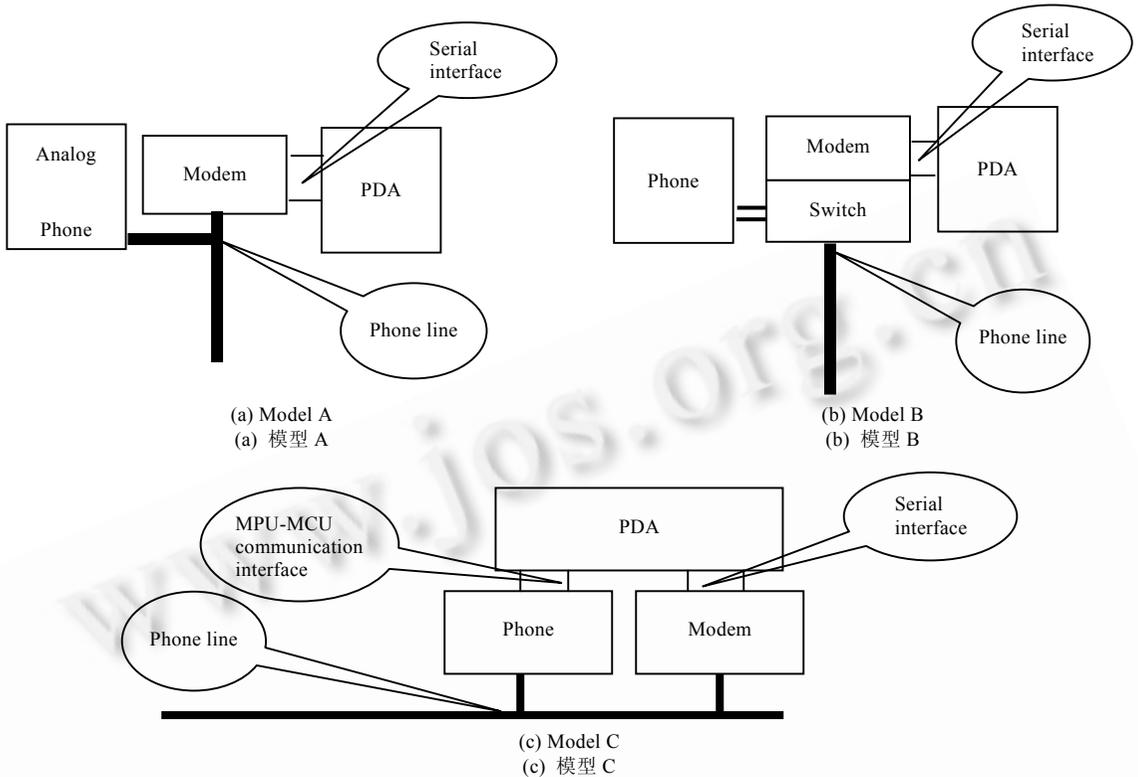


Fig.3 Three models of the smart phone
图3 智能电话的3种模型

当然,权值的科学而准确的量化,对于模型分析是非常重要的.由于各个不同的嵌入式系统的约束不具有有效的可比性,因此约束权值的大小完全可以由特定的系统设计者根据系统开发者对软件、硬件设计的熟悉程度以及实现的成本(自主开发或委托开发的时间、费用)等因素来确定.本文为了重点介绍方法的思想,这里进行较为简单的定义:软约束权值大小为 1,硬约束权值为 2(事实上,在具体的系统设计中,不同的软、硬约束的权值,其大小差异是很大的).对于整个模型分析而言,约束权值之和=软约束权值之和+硬约束权值之和.显而易见,系统设计者最终将选用约束权值和最小的模型.

我们利用数学工具加以表述.对于系统的某种约束 i ,如果 i 是“软约束”,表示为 S_i ;如果 i 是“硬约束”,表示为 H_i ;约束 i 的权值表示为 W_i ;软约束权值之和用 $\sum SW$ 表示;硬约束权值之和用 $\sum HW$ 表示;系统约束权值之和用 $\sum W$ 表示.由上面的分析,我们可以得出以下公式:

$$\sum W = \sum SW + \sum HW = \sum_i^{软约束总量} S_i * W_i + \sum_i^{硬约束总量} H_i * W_i .$$

2.2.2 分析过程及结论

从模型 B 中我们可以清楚地知道,该模型必须充分利用语音 MODEM 的数模、模数转化功能.我们对一款嵌入式 MODEM 进行分析(它具有 V9.0 语音 MODEM 的一般结构).MODEM 结构如图 4 所示.

对于习惯使用程控电话机的用户而言,希望通过电话机话筒/听筒进行通话.为了达到这个效果,要求连结 Modem 的通话设备必须完全替代语音 MODEM 上的麦克/和耳机的功能.因此,对于该模型,系统约束有:

- 必须设计一个转接电路,使通话设备完全替代语音 MODEM 的麦克和耳机的功能.该约束为硬约束.
- 语音数据保存在 MODEM 的 SDRAM 中,PDA 必须对语音数据进行管理,因此必须设计 PDA 上外围存

储器文件管理系统.该约束为软约束.

• 目前,MODEM 不具有显示来电号码的功能,必须在 MODEM 里添加来电号码显示的模块.该约束为硬约束.

利用 UML 的约束标记,该模型下的系统协作图可以表示成图 5.模型 B 的约束权值之和为

$$\sum W = \sum SW + \sum HW = \sum_i^{软约束总量} S_i * W_i + \sum_i^{硬约束总量} H_i * W_i = 1 * 1 + 2 * 2 = 5.$$

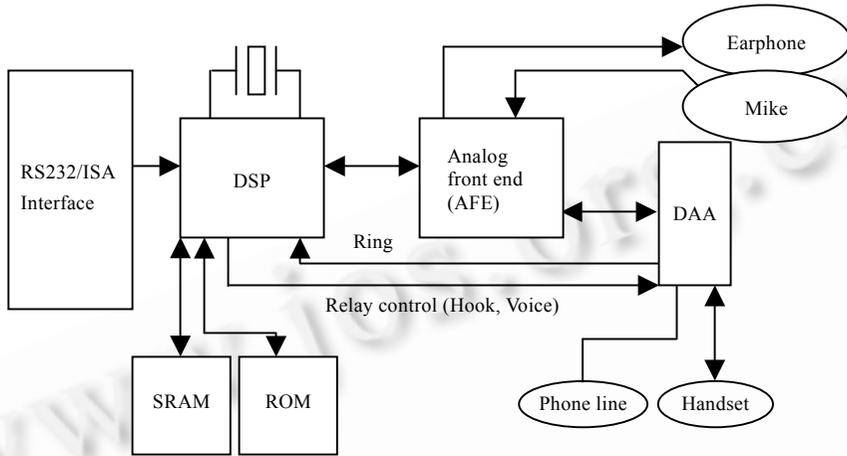


Fig.4 Sketch frame of modem
图 4 Modem 结构示意图

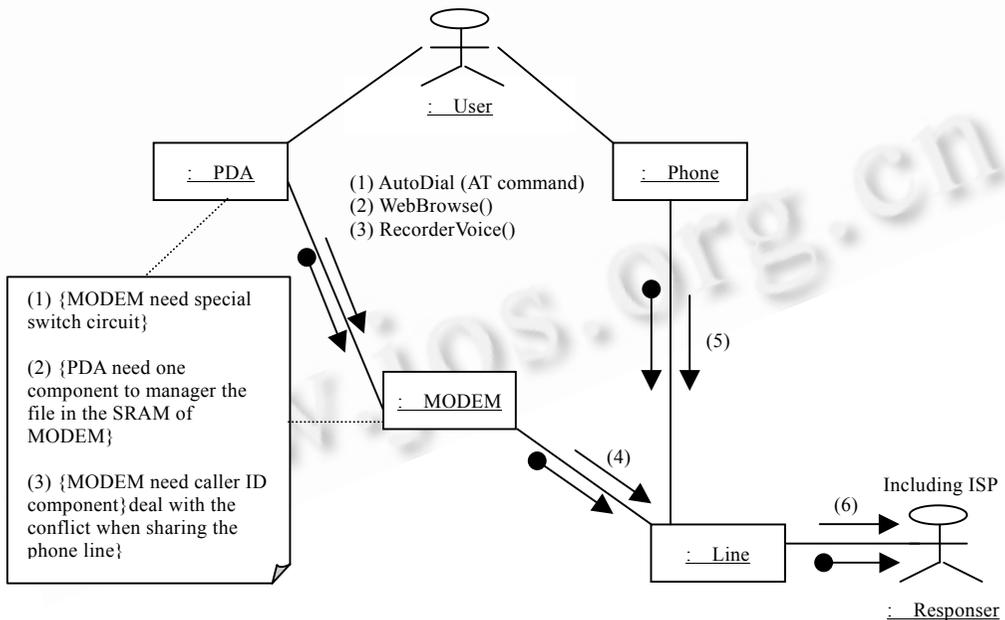


Fig.5 Collaboration diagram of model B
图 5 模型 B 的系统协作图

模型 C 充分利用现有电话所具有的录音、留言、来电显示等技术,将电话机看做是 PDA 的一个外设终端,而 MODEM 专门用于 Internet 接入.该模块需要解决的问题包括:

• 电话和 PDA 之间信息的传递可以在电话的 SPI 和 PDA 的串口之间利用 RS232 协议来实现,但是必须定义 MCU(电话主芯片)-MPU(PDA 主芯片)之间通信的数据格式(包括电话号码等数据信息以及拨号等指令).该

约束为软约束.

- PDA 端需要利用 C 语言设计实现常驻内存的通信服务程序,实时监听电话端的响应.该约束为软约束.
- 同理,PHONE 端需要利用 VHDL 语言编制通信服务模块.该约束为软约束.

这样,该模型下的系统协作图可以表示成图 6.模型 C 约束权值之和为

$$\sum W = \sum SW + \sum HW = \sum_i^{软约束总量} Si * Wi + \sum_i^{硬约束总量} Hi * Wi = 3*1 + 0*2 = 3.$$

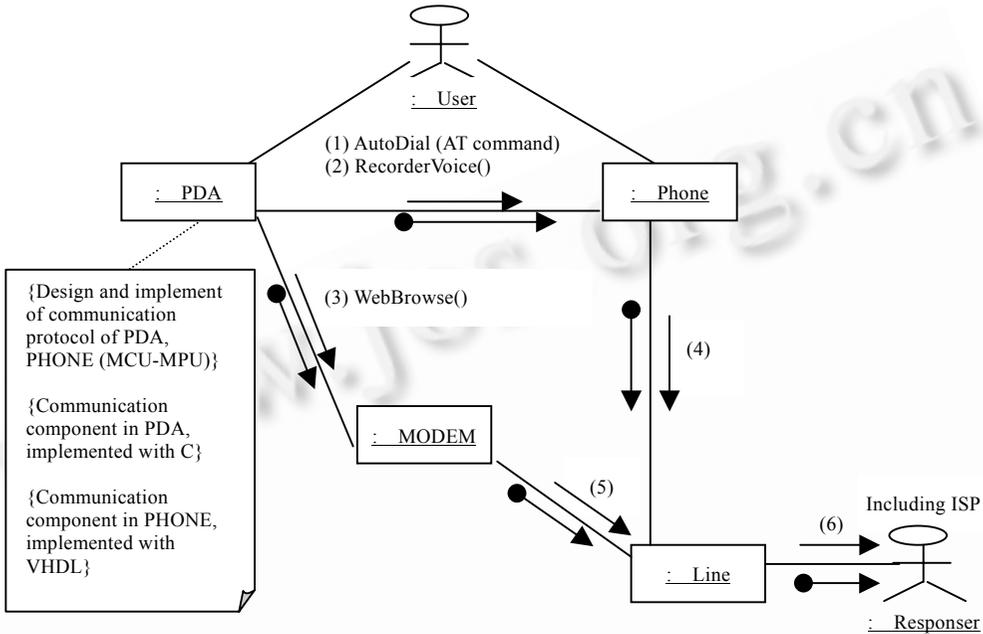


Fig.6 Collaboration diagram of model C
图 6 模型 C 的系统协作图

利用我们的方法就可以得到确定的答案:模型 C 的约束权值之和最小,因此模型 C 为最佳方案.为了体现各个功能模块时间约束的相互影响,顺序图是一个更为有效的分析工具.如果使用顺序图进行分析,那么硬件模型是否适合系统需求的标准就是系统模型里的各模块时间冲突发生的数量以及时钟响应的速度.同理,利用本文的方法可以确定不同模型相应时间的约束权值之和.限于文章篇幅,这里我们不再赘述,在最终选择系统模型时要同时考虑两者的约束权值之和,才可以得出有效的结论.

3 相关工作分析和总结

本文研究了将广泛接受的标准建模语言 UML 运用到嵌入式系统的协同设计中的方法,在 Chonlameth 提出的 CBC/UML 方法的基础上进行完善性的研究.本文针对 CBC/UML 方法在对系统模型进行提炼选择方面的不足,引入 UML 中协作图、顺序图的概念,利用约束权值的数学工具,使基于 UML 的软硬件协同设计方法可以应用于较为复杂的嵌入式系统设计.该方法为嵌入式系统模型选择提供了合理的参考.

本文阐述的方法已经在中国科学院软件研究所的智能电话系统的研制工程中得以应用,收到了良好的效果.其最显著的优点是缩短了硬件平台方案选择的时间,加快了整个项目的进程;而且,利用 Rational 公司的建模工具 RationalROSE,使设计文档更为标准,更加清晰化.

在协同设计的研究领域还有许多问题需要解决,如协同设计中系统说明、软硬件模块接口定义等.在这些方面如何引入标准建模语言,是值得广泛关注的问题,为此,还要进行许多研究工作.我们将另文进行论述,本文不再加以讨论.

