

[文章编号] 1000-1832(2011)02-0061-07

一种基于 WBS 的嵌入式软件估算方法

陈佳豫¹, 刘金国¹, 李健志², 孔德柱¹, 徐 东¹

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2 吉林省交通信息通信中心, 吉林 长春 130021)

[摘 要] 为确保嵌入式软件项目能够按照预定成本、进度顺利完成, 提出一种基于 WBS 的嵌入式软件估算方法, 并结合具体实例对规模/工作量估算、成本估算、进度估算、关键计算机资源估算和风险估算的内容进行了细致的描述. 利用基于 WBS 的嵌入式软件估算方法进行估算, 该结果与以往相类似软件实际结果比较, 各项数值的误差均在±10%以内. 该方法为有效规划和管理嵌入式软件项目制定合理可行的软件开发计划提供了有力的支持.

[关键词] 软件估算; 嵌入式软件; CMM; WBS; 软件项目策划; KPA

[中图分类号] TP 311. 5 [学科代码] 520 ° 40 [文献标志码] A

随着软硬件技术的快速发展, 嵌入式软件产业在国民经济中扮演着越来越重要的角色. 特别在航空、航天、航海等高安全性领域, 对嵌入式系统的功能需求越来越多. 同时, 由于嵌入式软件开发的整个过程都是软硬件并行交互进行, 因此嵌入式软件开发已经成为一项很复杂的系统工程^[1], 开发计划很难制定. 就目前发展来看, 在嵌入式软件项目的开发过程中, 对项目做出一个合理的估算已成为确保项目能够按照预定的成本、进度顺利完成的必备前提条件. 适当的软件项目估计方法是 CMM 2 级软件项目策划 KPA (SPP) 的要求. CMM3 级的集成软件管理 KPA 也需要有好的估计方法来为项目制订计划^[2].

在项目管理实践中, 工作分解结构 (work breakdown structure, 即 WBS) 是最重要的内容. 它处于策划过程的中心, 是制定工作进度、资源需求、成本预算、风险管理等的重要基础^[3]. 本文结合具体嵌入式软件项目实例给出了一种适用于有历史数据的软件估算方法——基于 WBS 的嵌入式软件估算方法, 有针对性地介绍了嵌入式软件项目的规模/工作量估算、成本估算、进度估算、关键计算机资源估算和风险估算的估算过程.

1 软件估算与 WBS

1.1 软件项目估算

软件项目估算就是结合目前各种实际情况, 提供项目中的软件规模、工作量和人力成本、设备资源以及进度、风险的最可能合理的模型. 它是一门科学, 更是一门艺术. 这个重要的活动不能以随意的方式进行, 因为它是所有其他项目计划活动的基础, 是软件生命周期内各个不同阶段进行管理、评审和验收的主要依据^[4]. 如果低估软件项目估算会造成人力、成本预算低估, 日程过短, 最终成本超出预算, 进度拖期, 影响项目质量, 甚至导致项目失败. 所以对于任何软件开发来说, 好的估算异常重要.

估算的对象包括规模/工作量、成本、关键计算机资源、进度和风险^[3-6].

1.2 WBS 与估算

WBS (工作分解结构) 是一种以产品结构为导向, 将项目的进度、工作量和资源充分结合起来的一种表现方式. 它以可交付成果为导向对项目要素进行的分组, 归纳和定义了项目的整个工作范围, 每下

[收稿日期] 2011-03-28

[基金项目] 国家“863”高技术研究发展计划项目 (2008AA121803).

[作者简介] 陈佳豫 (1977—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事软件工程、计算机控制研究; 通讯作者: 李健志 (1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事计算机应用技术、网络信息处理研究.

降一层代表对项目工作的更详细定义.可以由树形的层次结构图或者行首缩进的表格表示.在实际应用中,表格形式的 WBS 应用比较普遍.其分解原则为横向到边即 WBS 分解不能出现漏项,也不包含不在项目范围之内的任何产品或活动;纵向到底即 WBS 分解要足够细,以满足任务分配、检测及控制的目的. WBS 分解标准为分解后的活动,结构清晰,在逻辑上形成一个大的活动,并集成了所有的关键因素(如里程碑和监控点),且所有活动全部定义清楚. 它的分解方法包括自上而下与自下而上的充分沟通、一对一个别交流和小组讨论^[3].

对项目进行软件策划时往往项目周期已经确定,因此为了可以满足进度 WBS 的分解粒度至关重要.通常按职能-生命周期进行 WBS 分解,并随着项目的进展对各项任务的划分不断进行细化.任务划分的细致则有助于确定项目中活动所需的工作量、组织中所需的角色和职责,从而进行精确的估算. WBS 估算法是一种基于 WBS 的方法,即先把项目任务进行合理的细分,然后估算每个 WBS 要素的规模和工作量.因此它适用于需求明确,且有历史数据的软件项目估算^[3]. WBS 和估算没有完全的先后关系,分解后进行估算,在估算过程中又在调整和解 WBS,不断细化.

2 基于 WBS 的嵌入式软件估算

下面以空间相机控制软件为例,说明基于 WBS 的嵌入式软件的具体估算方法.

相机控制软件需要完成的功能包括:总线通讯、参数实时计算、数据管理、采集遥测数据、调焦控制、相机工作控制、成像控制及辅助处理等^[8-10].其功能框图如图 1 所示.

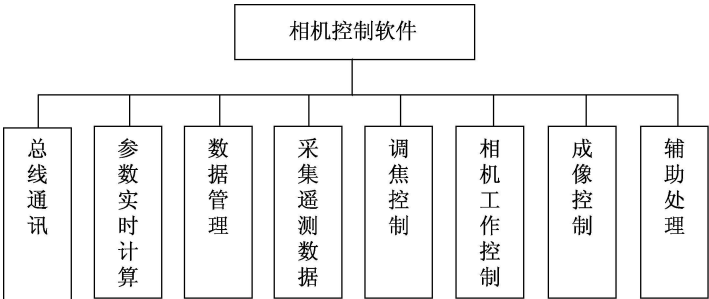


图 1 相机控制软件系统功能框图

为使估算准确,估算结果均采用 Pert 方法.公式为

$$R = (1 \times A + 4 \times B + 1 \times C) / 6.$$

(1)

即对于规模/工作量、成本、关键计算机资源和进度估算过程中的每一项估算值均由 3 名具有不同经验的软件开发与设计人员分别进行估算,将三者的估算结果按由大到小顺序(用 A, B, C 分别表示)分别乘以权 1, 4 和 1 然后除以 6,所得结果作为最终的估算结果(R). 为便于说明,下列估算过程中使用的估算值均为已经按照公式(1)计算后取整的估算结果加以使用.

2 1 WBS 分解

结合嵌入式软件项目的研制过程,将相机控制软件项目按职能-生命周期进行 WBS 分解,如表 1 所示.由于篇幅所限,本文进行的 WBS 分解仅包括了项目研制中的关键任务,具体进行估算时应进一步细化.

表 1 相机控制软件 WBS

序号	活动和任务	工作产品	紧前任务	负责人
1	软件策划			
1.1	软件估计		3.1	{①}
1.2	编写估算报告	软件估算报告	1.1	{①}
1.3	讨论开发计划		1.2	{①}
1.4	编写文档及评审	软件开发计划	1.3	{①}{②}
2	任务分析			
2.1	任务分析			{①}
2.2	编写文档及评审	软件研制任务书	2.1	{①}{②}

续表 1

序号	活动和任务	工作产品	紧前任务	负责人
3	需求分析			
3.1	需求分析			{③}
3.2	编写文档	需求规格说明、确认测试计划	3.1	{③}{⑤}
3.3	需求评审			{①}{②}{③}
4	设计			
4.1	概要设计			{④}
4.2	编写文档	概要设计说明、集成测试计划	4.1	{④}{⑤}
4.3	详细设计		4.2	{④}
4.4	编写文档	详细设计说明、单元测试计划	4.3	{④}{⑤}
4.5	设计评审		4.4	{①}{②}{④}
5	编码和单元测试			
5.1	编码	软件源程序		{④}
5.2	单元测试设计	单元测试说明	5.1	{⑤}
5.3	执行测试并总结	单元测试报告	5.2	{⑤}
6	组装与测试			
6.1	组装测试设计	集成测试说明		{⑤}
6.2	执行测试并总结	集成测试报告	6.1	{⑤}
6.3	确认测试设计	确认测试说明	6.2	{⑤}
6.4	执行测试并总结	确认测试报告	6.3	{⑤}
6.5	确认测试评审		6.4	{①}{②}{④}{⑤}
7	跟踪与监督			{①}
8	配置管理	配置管理计划		{⑥}
9	质量保证	质量保证计划		{②}

注: ①代表软件负责人; ②代表质量保证员; ③代表需求分析员; ④代表软件开发员; ⑤代表软件测试员; ⑥代表配置管理员. 表中跟踪与监督、配置管理和质量保证活动贯穿于整个软件研制的生命周期, 具体工作在此未细化.

2 2 规模/工作量估算

根据嵌入式软件和硬件联系非常紧密, 要求高可靠性的特点, 按照相机控制软件的功能需求和历史数据进行基于 WBS 的规模和工作量估算, 如表 2 所示. 表 2 中单元测试阶段、组装测试阶段和确认测试阶段的工作量中均包括进行相应回归测试的工作.

表 2 相机控制软件估计单

序号	活动和任务	工作产品	规模估计/ 页	工作量估计/ d
1	软件策划			
1.1	软件估计			8
1.2	编写估算报告	软件估算报告	45	12
1.3	讨论开发计划			7
1.4	编写文档及评审	软件开发计划	25	18
2	任务分析			
2.1	任务分析			30
2.2	编写文档及评审	软件研制任务书	20	25
3	需求分析			
3.1	需求分析			35
3.2	编写文档	需求规格说明、确认测试计划	90, 45	40, 15
3.3	需求评审			5

续表 2

序号	活动和任务	工作产品	规模估计/ 页	工作量估计/ d
4	设计			
4. 1	概要设计			10
4. 2	编写文档	概要设计说明、集成测试计划	180, 30	40, 10
4. 3	详细设计			10
4. 4	编写文档	详细设计说明、单元测试计划	320, 55	50, 15
4. 5	设计评审			5
5	编码和单元测试			
5. 1	编码	软件源程序	a	35
5. 2	单元测试设计	单元测试说明	480	20
5. 3	执行测试并总结	单元测试报告	600	35
6	组装与测试			
6. 1	组装测试设计	集成测试说明	330	20
6. 2	执行测试并总结	集成测试报告	420	55
6. 3	确认测试设计	确认测试说明	260	35
6. 4	执行测试并总结	确认测试报告	340	70
6. 5	确认测试评审			5
7	跟踪与监督			30
8	配置管理	配置管理计划	15	30
9	质量保证	质量保证计划	11	30

注: a 代表 7 500 行源程序.

表 2 中软件策划活动属需求分析阶段完成的工作, 跟踪与监督、配置管理和质量保证等项目过程控制活动贯穿于整个软件研制的生命周期, 将其总工作量按 10%, 25%, 20%, 12%, 33%的比例分给各阶段后, 相机控制软件各阶段的工作量如表 3 所示.

表 3 各阶段工作量估算表

阶段名称	项目开发工作量/ (人 d)	项目过程控制工作量/ (人 d)
任务分析	55	9
需求分析	140	22. 5
设计	140	18
编码和单元测试	90	10. 5
组装与测试	185	30
总计	700	

2.3 成本估算

成本的计算公式为

$$I=E\times C.$$

(2)

其中 E 为工作量, C 为成本率.

结合嵌入式软件项目的具体情况, 将成本分为 4 类(其中前 3 类成本属软件成本)^[11].

(1) 开发与支撑环境成本: 包括含维护在内的硬件和软件费用、应用的方法和过程所形成的一部分成本以及开发软件项目使用的工具.

(2) 人员成本: 包括支付给软件开发人员的费用, 差旅费, 人员的培训费用.

(3) 资源消耗成本: 包括办公场所使用成本、水、电、空调等费用, 会计、文秘等辅助人员的费用, 网络、通信以及资料等费用.

(4) 不可预见成本: 占总软件成本的 5%~10%, 用来应对事先没有预料到的工作开销.

按照上述分类方法, 估算相机控制软件项目的各项软件成本的成本率及成本如表 4 所示.

表 4 成本估算表

成本名称	成本率/(元/(人 d))	成本($I=E\times C$)/元
开发与支撑环境成本	550	385 000
人员成本	500	350 000
资源消耗成本	450	315 000
不可预计成本	—	105 000
总计	—	1 155 000

注: 表中不可预计成本按占总软件成本 10%取值.

2.4 进度估算

进度估算时需要考虑人员技能, 各阶段人员分配, 对客户承诺的进度等多种因素, 计算公式为^[11]

$$T=E\times (1-Q)/n.$$
 (3)

其中: T 为进度; E 为工作量; n 为分配人数; Q 为人员技能综合因素权值(由人员技能综合因素的各项和除以 100 得到, 其中人员技能综合因素的确定参见表 5).

表 5 人员技能综合因素检查表

检查项	取值范围	取值标准说明
编码熟练程度	— 40 ~ 40	由低到高(低: 新手; 高: 高手)
文档编写熟练程度	— 30 ~ 30	由低到高(低: 新手; 高: 高手)
接受工作任务的程度	— 10 ~ 10	由消极抵制到主动积极
团队配合程度	— 15 ~ 15	由各自为政到全员配合
团队规模	— 5 ~ 5	由多人到一人(多人: 人员超过 4 个)

设定相机控制软件项目组成员共 8 人, 其中负责跟踪与监督、配置管理和质量保证任务者共 3 人(其工作与软件研制工作并行进行, 不单独估算进度). 进行软件研制的 5 人中, 有丰富经验者 3 人(A_1, A_2, A_3), 有些经验者 2 人(B_1, B_2). 先依据表 5 为每一成员取相应权值, 再将参与对应工作的每个人的权值相加取平均即为该工作项目人员技能综合因素权值. 按照表 2 中各阶段、任务的工作量, 估算相机控制软件项目进度如表 6 所示. 其中需求分析阶段的软件策划和需求分析工作由 A_1 和 A_2 二人并行进行, 因此取二者中的最长时间为该阶段的进度; 组装与测试阶段的组装测试工作和确认测试工作为串行进行, 因此该阶段的进度为二者之和.

表 6 进度估算表

阶段名称	人员分配	分配人数(n)	人员技能综合因素权值(Q)	工作量(E)	进度(T)/d
任务分析	A_1	1	0.50	55	27.5
软件策划	A_1	1	0.50	45	47.5
需求分析	A_2	1	0.50	95	
设计	A_1, B_1	2	0.20	140	56
编码和单元测试	A_2, B_1	2	0.20	90	36
组装测试	A_2, B_1	2	0.20	185	74
确认测试	A_3, B_2	2	0.20		

最后, 根据估算的项目总工期及客户的要求, 制定项目进度计划如表 7 所示.

表 7 各阶段、任务的进度计划表

任务名称	持续时间/d	开始时间	结束时间
任务分析	27.5	2009-07-01	2009-08-01
需求分析	47.5	2009-08-01	2009-10-13
设计	56	2009-10-14	2009-12-31
编码和单元测试	36	2009-12-31	2010-02-26
组装与测试	74	2010-03-01	2010-06-10

注: 表中所示的时间为有效工作时间, 假设项目开始时间为 2009 年 7 月 1 日.

2 5 关键计算机资源估算

空间相机控制软件项目的关键计算机资源估计主要包括以下几项的技术指标及其来源的估计: 相机控制器的微处理器 (INTERSIL 80C86); 相机控制器引导程序存储器 PROM, 应用程序存储器 EEPROM、数据存储器 SRAM 的容量; 相机控制器总线通信通道的容量^[12]; 台式计算机软硬件配置 (CPU 为 Pentium 4, 内存为 2GB, 硬盘为 160GB, 操作系统为 Microsoft Windows XP 和 Windows 2000); 软件开发工具和调试工具 (Microsoft Masm 5.0 和德国 Lauterbach 公司 Trace32) 等.

2 6 风险估算

在相机控制软件项目开发的过程中, 预计影响项目按照进度安排顺利完成和提交的风险类别包括: 产品规模风险、需求风险、开发环境风险、外部环境风险、管理风险、技术风险和人员风险等. 用风险系数定义风险的优先级, 公式为

$$R = T_F \times P \times A \times T_H \times 100.$$
(4)

其中: R 为风险系数; T_F 为风险识别时间 (定义该风险最有可能在何时被发现); P 为风险发生概率值; A 为风险发生后果; T_H 为风险发生时间 (定义该风险最有可能在何时发生). 以上各风险参数项的确定参见表 8.

表 8 风险参数定义表

风险参数项	取值标准说明
风险识别时间	当前阶段: 0.3 分; 下一阶段: 0.6 分; 之后发生: 0.9 分
风险发生概率值	由高到低: 0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1 分
风险发生后果	由致命到一般: 0.9, 0.7, 0.5, 0.3 分
风险发生时间	当前阶段: 0.9 分; 下一阶段: 0.6 分; 之后发生: 0.3 分

风险系数越大, 风险的优先级越高. 按风险优先级由高至低将相机控制软件项目开发过程中各类风险估算列入表 9 中.

表 9 风险估算表

风险名称	识别时间(T_F)	概率值(P)	后果(A)	发生时间(T_H)	风险系数(R)	应对措施	应急措施
产品规模风险	0.9	0.3	0.9	0.9	21.87	参考历史数据, 选择适合估算方法, 多人参与; 考虑各类风险.	及时更改估算报告及相关各个计划类文档.
技术风险	0.6	0.5	0.7	0.6	12.6	定时组织培训, 成员间积极交流经验; 聘请有经验专家指导, 借鉴成熟经验.	与总体积极协调, 延长开发周期, 及时更改开发计划和任务分配.
外部环境风险	0.6	0.3	0.9	0.6	9.72	各个阶段工作均与卫星总体保持及时、高效的沟通.	与总体积极协调, 延长约定的开发周期并增加费用.
开发环境风险	0.6	0.3	0.7	0.6	7.56	提前对硬件产品的落实进行跟催; 尽量选择熟悉开发工具; 提前熟悉新开发工具.	尽快寻找可替代资源.
需求风险	0.9	0.1	0.9	0.9	7.29	在做需求分析时, 与客户保持密切联系; 进行需求管理, 严格执行需求变更流程, 并及时修改项目计划.	与总体协调, 可采取将变更需求纳入下一个版本开发, 或延长开发周期并增加费用.
管理风险	0.6	0.1	0.7	0.6	2.52	实时掌握实际项目状态, 提高管理水平; 及时协调各方面关系; 储备备用资源.	召开会议, 及时更改计划和任务的分配; 及时协调并使用备用资源.
人员风险	0.3	0.3	0.7	0.3	1.89	加强沟通, 尽早了解人员动向; 加强团队成员互动, 让成员间了解工作情况; 对关键性技术人员培养后备人员	适当调整工作分工和项目计划, 在确保项目关键任务的前提下, 调整其他任务的进度安排.

3 结论

本文给出了一种基于 WBS 的嵌入式软件估算方法, 为有效的规划和管理嵌入式软件项目, 制定合理可行的嵌入式软件开发计划, 提高嵌入式软件项目的成功率提供了有力的支持. 并结合具体实例对规模/工作量估算、成本估算、进度估算、关键计算机资源估算和风险估算的内容进行了细致的阐述. 它适用于有历史数据的软件估算. 利用本文方法进行估算的结果, 与以往相类似软件实际结果比较, 各项数值的误差均在一 10% 至+ 10% 之间. 并且随着信息量的增加以及不断的细化, 估算的误差会逐渐变小, 确认了上述方法的实际效用. 计划基于估算, 没有估算而制定的开发计划是盲目的计划. 因此, 我们应尽早估算, 经常估算.

[参 考 文 献]

[1] 陈佳豫, 邢忠宝, 刘金国, 等. 星载嵌入式软件测试过程模型的研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(9): 1654-1659.
[2] MARK C P, CHA RLES V W. Key practices of the capability maturity model SM, Version 1.1 [R]. Technical Report, CM U/SEI-93-TR-025, ESC-TR-93-178, 1993.
[3] 肖辉. 长春光学精密机械与物理研究所 GJB 5000 文件[R]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2008.
[4] ROGER S P. Software engineering: a practitioner's approach, fifth edition. [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 1-98
[5] PANKAJ J. CMM in practice: processes for executing software projects at infosys [M]. Beijing: Pearson Education Inc 1999: 7-84.
[6] 吴涛, 马军. 网络安全风险评估方法的研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2010, 42(1): 53-58.
[7] 刘卓炯. 软件项目任务分解的思考[EB/OL]. http://www.mypm.net/articles/show_article_content.asp?articleID=19402&pageNO=1, 2010, 7.
[8] 何家维, 何昕, 魏仲慧, 等. 电子倍增 CCD 星相机的设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1396-1403.
[9] 穆欣, 胡君, 宋启昌, 等. 空间相机集成测试系统的时钟同步[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1436-1443.
[10] 孙莹, 万秋华, 王树洁, 等. 航天级光电编码器的信号处理系统设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(5): 1182-1188.
[11] 陈佳豫, 李杨, 刘金国, 等. 一种嵌入式软件项目估计方法[J]. 计算机科学, 2008, 35(11): 236-238.
[12] 张岳, 李洪文, 孟浩然, 等. 光电探测系统通讯控制卡设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 988-994.

WBS-based estimation method of embedded software

CHEN Jia-yu¹, LIU Jin-guo¹, LI Jian-zhi², KONG De-zhu¹, Xu Dong¹

(1 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2 Jilin Province Traffic Information Communications Center, Changchun 130021, China)

Abstract: To ensure budget and schedule of embedded software project, this paper presents a WBS-based estimation method of embedded software, and illuminates in detail the contents of size/effort estimation, cost estimation, schedule estimation, key computer resource estimation and risk estimation in combination with example. The estimation result show that, compared with the actual results of similar embedded software project, the errors of above-mentioned items are all within $\pm 10\%$. The research of this paper provides strong supports for effectively planning and managing software project, and making reasonable software development plan.

Keywords: software estimation; embedded software; capability maturity model (CMM); work breakdown structure(WBS); software project planning (SPP); key process area(KPA)

(责任编辑: 石绍庆)