

基于软件完整性级别的软件可靠性度量选取框架

李海峰 孟令中 陆民燕 殷永峰

(北京航空航天大学可靠性与系统工程学院 北京 100191)

摘要 选取合适的软件可靠性度量,对于软件质量保证及项目管理有着重要意义。现有的软件可靠性度量选取方法没有考虑软件完整性级别这个重要的设计属性。完整性级别表示软件特性的取值范围,该范围对将系统风险保持在可容忍的限度内是必需的,其对软件可靠性水平有显著影响。提出了一种基于完整性级别的可靠性度量选取框架:首先给出基于完整性级别的度量选取体系;然后在选取体系的基础上,给出相应的度量选取方法;最后,将提出的度量选取框架应用于ISO/IEC 9126质量模型中的外部软件可靠性度量,根据度量的特点将每种度量不同程度(基本、条件及参考)地推荐给不同的完整性级别。实例表明,基于完整性级别的度量选取技术是系统且有效的,所推荐的度量可以满足软件尤其是安全关键软件在不同完整性级别上的需求。

关键词 软件完整性级别,软件可靠性度量,度量选取框架

中图法分类号 TP311.5 **文献标识码** A

Software Reliability Metrics Selecting Method Considering Software Integrity Level

LI Hai-feng MENG Ling-zhong LU Min-yan YIN Yong-feng

(School of Reliability and System Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract It is very important to select and use appropriate software reliability metrics (SRMs) for software intensive systems. Therefore there are some approaches presented for effectively selecting SRMs. However, almost all of these approaches didn't consider the software integrity which is a very important design attribute with the unique ability to contain risk which combines the frequency and the consequence of software failure. Thus we suggested that the integrity is a significant factor which affects the final software reliability or safety and should be considered for selecting the suitable SRMs. This paper proposed an integrity-level-based framework with which software organizations can systemically and effectively identify and select the suitable SRMs respectively to satisfy the integrity requirement of the safety-critical software. Finally a preliminary case study was given by using this framework to select the basic, conditional and optional SRMs from ISO/IEC 9126 for various software integrity levels.

Keywords Software integrity level, Software reliability metrics, Metrics selection framework

软件可靠性是软件可信性的重要特性之一。软件可靠性度量(Software reliability metrics, SRMs)是软件可靠性水平的测量指标,经常用于软件可靠性的评估与保证活动^[1]。可靠性度量对于软件可靠性工程活动的开展具有很重要的意义,因为其可以^[8]: 1)为可靠性管理提供定量参考;2)权衡费用、进度与可靠性;3)监控测试进程并预计测试进度;4)评估和验证可靠性;5)从可靠性的角度评估软件工程技术;6)解释可靠性的行为或活动(借助可靠性模型)。

目前,已经有许多标准或文献对软件可靠性度量进行了研究,例如ISO/IEC 9126质量模型^[1]、IEEE Std 982.1软件可信性属性度量词典^[2]、30种用于安全关键软件的可靠性度量^[9]、军用软件可靠性度量研究报告^[10]、LittleWood多维模型^[11]等。在工程项目中,如何根据不同的软件特征及开发阶段选取合适的可靠性度量,是一个令人困扰的问题;所选取的度量过少或不合适,会使可靠性工程活动开展不充分,而选取

过多的度量又会带来额外的项目开销,使得可靠性工程活动变为一种负担。所以,科学且有效的度量选取原则或方法对于软件可靠性工程活动的开展有着十分重要的意义。

文献[8,10]给出若干度量选取原则,这些原则比较主观且粗糙,缺乏系统性和可操作性,仅可作为专家决策时的参考信息。文献[3-5]从不同角度分别给出系统化的度量选取方法,例如文献[3]提出一种可用于武器系统的可靠性度量选取框架,文献[4]提出基于专家意见的度量评分排序方法,文献[5]提出基于层次分析法和专家意见的度量选取方法。但是,这些度量选取方法均没有考虑软件完整性级别(Software Integrity Level)的要求。完整性级别是一种十分重要的设计属性,其或者是表示提供缓减功能的可靠程度的分配,或者是表示对可能导致威胁产生的失效频率的限制的分配^[7],因此具有限制系统风险(包含软件失效频率和失效后果)在可容忍的范围内的能力,是一种在软件需求、设计、开发以及实施等各

到稿日期:2010-02-05 返修日期:2010-04-19 本文受国家航空科学基金(20095551025)资助。

李海峰(1981—),男,博士生,主要研究方向为软件可靠性测试与度量,E-mail:lihaifeng@dse.buaa.edu.cn;**孟令中**(1981—),男,博士生,主要研究方向为网络软件可靠性;**陆民燕**(1963—),女,研究员,博士生导师,主要研究方向为软件可信性;**殷永峰**(1979—),男,博士生,主要研究方向为形式化软件测试方法。

个阶段都应当被考虑的软件结构特征^[6]。从以上表述可以看出,软件完整性级别对于最终的可靠性或安全性水平有着决定性的作用。因此,为保证所选取的度量可以满足不同级别的完整性需求,在软件可靠性度量选取过程中应当考虑完整性级别的影响情况。

综上,本文首先提出一种基于完整性级别的软件可靠性度量选取框架,该框架包含基于完整性级别的度量选取体系及相应的选取方法,可将度量不同程度地推荐给合适的完整性级别。最后,将该选取框架应用于 ISO/IEC 9126 质量模型,从而将模型中的可靠性度量从基本、条件及参考 3 种程度分别推荐给合适的完整性级别。

1 软件完整性级别

依据标准 ISO/IEC 15026《系统和软件完整性级别》^[7],软件完整性级别或是表示提供缓减功能的可靠程度的分配,或是表示对可能导致威胁产生的失效频率的限制的分配。也就是说,软件完整性级别是一种软件特性的取值范围,该范围对将系统风险保持在可容忍的限度内是必需的。对于执行缓减功能的软件,此特性是指软件必须执行缓减功能的可靠性。对于因其失效而导致一个系统威胁的软件,此特性是指对该失效的频率或概率的限制。

软件完整性级别一般在开发过程早期指定,最好在系统需求分析和体系结构设计活动的过程中指定。不仅可对软件指定完整性级别,也可对软件需求、功能、功能组、软件部件或子系统指定完整性级别。软件完整性一般可分为 A、B、C、D 4 种级别(A 表示最高级别,每种级别的描述见文献^[7])。表 1 给出了基于风险分析的软件完整性级别的指定示例。

表 1 软件完整性级别的指定示例

错误后果	导致该错误的运行状态出现的可能性			
	相当的	大概的	偶尔的	极小的
灾难的	A	A	A 或 B	B
严重的	A	A 或 B	B	C 或 D
微小的	B	B 或 C	C 或 D	D
可忽略	C	C 或 D	D	D

2 基于完整性级别的度量选取体系

本文提出的度量选取框架包含两部分内容:基于完整性级别的度量选取体系及相应的度量选取方法。度量选取体系是选取框架的实施基础,而度量选取方法则是选取框架的实施手段。

2.1 层次化的度量选取体系

借鉴现有度量选取方法^[5],本文提出一种层次化的度量选取体系,如图 1 所示。

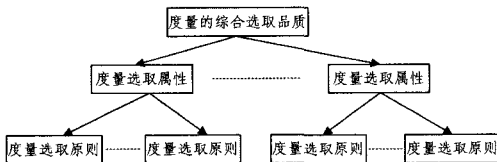


图 1 层次化的度量选取体系

根据图 1,本文提出的度量选取体系是金字塔型的三层体系结构,由度量的综合选取品质、度量选取属性以及度量选取的原则组成,具体介绍如下。

2.2 度量选取原则

根据软件完整性级别的定义,为软件可靠性度量制定如

下 5 种选取原则。

(1)与软件可靠性的相关性

该原则反映度量与软件可靠性及其评估之间的关系。备选的程度都直接或间接地影响或反映着软件可靠性的水平,最终选用的度量应该与软件的可靠性有着密切关系或重大影响。具体要点:①与失效是否相关;②与故障是否相关;③与软件可靠性及其度量是否相关。

(2)与软件安全性的相关性

该原则反映度量与软件安全性及其评估之间的关系。备选的程度都直接或间接地影响或反映着软件安全性的水平,最终选用的度量应该与软件的安全性有着密切关系或重大影响。具体要点:①是否关心失效的后果;②是否关心故障的后果;③是否关心安全关键软件。

(3)可行性

①度量方法或公式易于理解和实现,且可能有工具支持;②度量计算所需数据的收集较为容易并且数据的来源可信;③度量结果便于评估和确认;④客观性:度量的结果与其数据输入不受评价者的主观影响;⑤公正性:度量不偏向任何特殊的结果;⑥足够的精度。

(4)实践性

①度量在软件工程中应用的程度以及被软件可靠性工程界认可的程度;②用户最关心且可能提出指标要求。

(5)特殊性

度量不具备通用性,即只有在特定的软件类型或满足特殊的需求时才推荐选用。原则 5 不是普适性选取原则,但是会对度量选取结果产生影响。

2.3 度量的选取属性及综合选取品质

由图 1 可以看出,度量选取属性是度量在若干选取原则上符合程度的综合分析结果,而度量的综合选取品质则是所有度量选取属性的综合分析结果。因此,本文将度量在选取原则 1 和 2 上符合程度的综合分析结果称为度量的重要性,在选取原则 3 和 4 上符合程度的综合分析结果称为度量的实用性。显然,度量重要性和实用性的综合分析结果就是基于完整性级别的度量综合选取品质。需要说明的是,由于不是每个度量都需要考虑原则 5,因此本文不把原则 5 归入选取体系中,在后叙的度量选取方法中会考虑原则 5 对最终选取结果的影响。

3 基于完整性级别的度量选取方法

根据度量选取体系的特点,基于完整性级别的度量选取方法包括如下几个步骤:

步骤 1 确定度量在选取原则上的符合程度

根据每个度量的特点,可通过专家意见来确定度量在每种选取原则上的符合程度。本文将度量在选取原则上的符合程度分为 3 个等级,如表 2 所列。

表 2 度量在选取原则上符合程度的等级

等级	释义
1	优秀,表示度量非常符合该选取原则
2	良好,表示度量较为符合该选取原则
3	一般,表示度量不太符合该选取原则

需要说明的是,只需要确定度量在前 4 种选取原则上的符合程度。而选取原则 5 则不是对每种度量都适用,所以不需要进行符合程度分析。

步骤2 确定度量在选取属性上的符合程度

综合分析度量在每种选取原则上的符合程度,即可获得度量在选取属性(重要性或实用性)上的符合程度。度量在选取属性上的符合程度级别与选取原则一致(参见表2)。而具体的综合分析过程则参考风险分析矩阵,如表3所列(以度量在重要性上符合程度的综合分析结果为例)。

表3 度量在重要性上的符合程度

与可靠性的 相关性	与安全性的相关性		
	1	2	3
1	1	1	1或2
2	1	1或2	2
3	2	2或3	3

事实上,进行综合分析时还需要考虑每种选取原则在不同属性下的权重值。考虑到本文理论研究的特点,表3的分析结果是在假定每种属性下的选取原则权重值相同的前提下得到的。在工程应用的过程中,还需要专家根据软件的特点和具体需求来确定不同选取原则的权重值,再进行综合分析。

步骤3 确定度量的综合选取品质

同理,综合分析度量在两种选取属性上的符合程度,即可获得度量的综合选取品质。度量的综合选取品质共分为9个级别,其中(1)表示最佳的综合选取品质,具体的综合分析过程如表4所列。需要说明的是,考虑到度量选取一般都是面向工程应用的特点,本文将度量的实用性的权重定为0.55,重要性的权重定为0.45。

表4 度量的综合选取品质分析

重要性	实用性		
	1	2	3
1	(1)	(3)	(6)
2	(2)	(5)	(8)
3	(4)	(7)	(9)

步骤4 面向完整性级别的度量选取

根据度量的综合选取品质,可以不同程度地将度量推荐给合适的完整性级别。需要说明的是,由于本节只概述对度量选取方法的内容,还未涉及软件的类型和具体度量,因此在本节中还不考虑选取原则5对度量选取结果的影响情况(而在第4节实例应用中考虑选取原则5的影响)。本节定义如下两种度量推荐程度,即基本(推荐)度量和参考(推荐)度量。其中,若某度量在某完整性级别被选为“基本度量”,则若无特殊原因,该度量在该完整性级别软件的开发过程中应当被选用;“参考度量”则表示该度量不是必需的,可根据项目情况(资源、进度等)来决定该度量是否被选用。根据度量综合选取品质等级,给出面向完整性级别的度量选取结果,如表5所列。

表5 面向完整性级别的度量选取结果

品质	重要性	实用性	完整性级别	
			基本	参考
(1)	1	1	ABCD	
(2)	2	1	ABC	D
(3)	1	2	ABC	D
(4)	3	1	AB	C
(5)	2	2	AB	C
(6)	1	3	A	BC
(7)	3	2		AB
(8)	2	3		AB
(9)	3	3		A

注:ABCD表示不同的完整性级别。

从表5可以得出如下结论:度量的品质越高,则该度量被不同完整性级别选用的可能性越大。例如当度量的品质等级为(1)时,由于该度量的重要性和实用性都很高,则该度量在4个完整性级别上都被选为基本度量。而当度量的品质等级为(9)时,由于该度量的重要性和实用性都很差,则该度量仅在最高的完整性级别A上被选为参考度量。

4 实例应用研究

4.1 实例介绍

(1)应用对象:ISO/IEC 9126 质量模型^[1]是一个成熟的软件质量体系,已经在实际工程项目中得到广泛应用。因此,将本文提出的基于完整性级别的度量选取框架应用于该质量模型中的18个外部软件可靠性度量,分别为:1)估计潜在的故障密度;2)针对测试用例的失效密度;3)故障密度;4)失效解决;5)故障排除;6)平均失效间隔时间(MTBF);7)测试覆盖率(规定的测试覆盖运行场景);8)测试的成熟性;9)避免死机;10)避免失效;11)抵御误操作;12)有效利用率;13)平均宕机时间;14)平均恢复时间;15)可重新启动性;16)易修复性;17)修复的有效性;18)可靠性的依从性。限于篇幅,度量的计算公式参见文献^[1],即对这些可靠性度量进行综合选取品质分析,进而不同程度地推荐给合适的软件完整性级别。

(2)度量的推荐程度。结合本文第3节中定义的两推荐程度,再考虑选取原则5的影响,给出如下3种推荐程度:基本(推荐)度量、条件(推荐)度量及参考(推荐)度量。其中,“基本”和“参考”的定义与第3节相同,而“条件度量”则指在满足特定的软件类型或满足特定的度量需求时,该度量在该完整性级别软件的开发过程中应当被选用。也就是说,“条件度量”可理解为带条件的“基本度量”。

(3)参与本次度量选取工作的5名软件可靠性专家,均具有多年的安全关键软件测试、可靠性设计与分析以及可靠性测试及定量评估的经验,因此可保证实例应用结果具有一定的可信性和参考价值。

4.2 实例应用结果

结合对18个外部可靠性度量的深入理解,5位专家根据前述的基于完整性级别的度量选取体系和选取方法,经过多轮讨论,给出其度量选取结果,如表6所列。

对表6中的备注说明如下。

R1:该度量的元素A1(在软件产品中预测的潜在故障总数)较难获得精确的预计结果。在保证A1预计结果精确度的前提下,方考虑该度量;

R2:该度量对于有可靠性指标要求的软件来说极为重要,但仅适用于运行时间连续型的软件;

R3:该度量是对软件测试质量的反映,与软件可靠性没有直接的关系,并且该度量的元素B(按照覆盖需求要执行的测试用例数)也较难获得精确的计算结果;

R4:只有当软件可以出现死机或系统崩溃这样的严重失效时,才考虑选用该度量;

R5:该度量的计算元素中需要考虑软件的故障模式,因此只有当开发项目组具备进行故障模式分析的技术时方考虑该度量;

R6:该度量的计算元素B(在测试中执行的(几乎引起失效的)误操作模式的测试用例的个数)需要考虑软件的误操作

模式。因此,只有关注误操作模式的软件类型(例如安全关键软件),并且开发项目组具备进行误操作模式分析的技术时,方关注此度量;

R7:该度量需收集软件的宕机时间和宕机次数,因此只有关注宕机事件并且运行时间连续型的软件(例如需要具备连续有效服务能力的导航软件产品),方考虑选用该度量;

R8:这些度量需考虑软件可恢复性及可恢复时间,因此只有关注软件恢复能力或恢复时间的软件(例如需要具备连续有效服务能力的导航软件产品),方考虑选用此类度量。

表6 ISO/IEC 9126 外部可靠性度量的选取结果

度量	选取品质		完整性级别			注
	I	U	基本	条件	参考	
1)	1	3		A	BC	R1
2)	2	1	ABC		D	
3)	1	1	ABCD			
4)	1	2	AB	C	D	R2
5)	1	2	AB	C	D	
6)	1	1		ABCD		
7)	3	2			AB	R3
8)	3	2			AB	R4
9)	1	2	AB	C	D	
10)	1	3		A	BC	
11)	1	3		A	BC	R6
12)	2	1	ABC		D	R7
13)	1	2		ABC	D	
14)	1	2		ABC	D	
15)	2	2		AB	C	R8
16)	1	2		ABC	D	
17)	2	2		AB	C	
18)	2	3			AB	

注:1)R1—R8表示备注序号;2)I和U分别表示度量的重要性和实用性分析结果。

对表6中度量的重要性和实用性分析结果说明如下:

①度量1)表明当前软件中残留可能引发失效的潜在故障数。由于软件的可靠性水平决定于当前残留的缺陷情况,因此该度量对软件可靠性有着较大的影响。但由于该度量的计算元素A1的获取有一定困难,因此该度量的实用性较差;

②度量2)可用于检查软件测试的充分性及质量,但与软件可靠性不是很相关。该度量的两种元素在测试过程中比较容易收集并进行计算,所以实用性较好;

③度量3)经常被用来反映当前软件的缺陷情况,是一个很重要的软件可靠性或质量参数,并且该度量的两种元素在测试过程中比较容易收集并进行计算,所以实用性较好;

④度量4)反映所检测出的失效被解决的程度,因此对软件可靠性水平的提升具有重要意义;

⑤度量5)反映检测到的失效被纠正的程度,因此对软件可靠性水平的提升具有重要意义;

⑥度量6)是一个十分重要的软件可靠性参数,但是仅适用于运行时间连续型软件;

⑦度量7)反映测试用例对测试需求的覆盖程度,是对测试质量的一种体现,但与软件的可靠性没有很直接的关系,实用性也较差(见R3);

⑧度量8)反映软件是否达到可测试的条件,是对软件可测试性的一种体现,但与软件可靠性没有很直接的关系,实用性也较差(见R3);

⑨度量9)反映了软件发生死机、系统崩溃等关键或严重失效的频繁程度。对于完整性级别较高的安全关键软件来

说,该项度量十分值得注意。但对于系统崩溃也不会有太大损失的软件则可以不选用;

⑩度量10)反映了软件对关键性或严重性失效的控制能力。度量值越大,表明越可以更好地避免关键或严重失效的发生。对于完整性级别较高的安全关键软件来说,该项度量推荐选用;

⑪度量11)反映了为防止引发关键或严重性失效的误操作发生所设计的避免及抵御措施的实施程度,对于控制误操作发生可能带来的严重后果有着重要意义;

⑫度量12)反映了用户使用期间能正常运行或有效使用软件的程度,是一种用户十分关注的软件指标参数;

⑬度量13)反映了系统软件因宕机而不能正常使用的时间的多少,其对于有实时性要求的安全关键软件有着重要意义,例如银行金融系统、电力系统等;

⑭度量14)反映了软件从宕机中完全自我恢复的能力,平均恢复时间越短,越能减少因为宕机等严重失效所带来的损失,因此有实时性要求的安全关键软件推荐选用;

⑮度量15)反映了系统崩溃后软件能在规定的时间内重新启动的恢复能力,可重新启动频率越高,越能够减少因为宕机所带来的损失,因此有实时性要求的安全关键软件可以选用;

⑯度量16)反映了软件在异常情况发生或特殊需要时的自我修复能力;

⑰度量17)反映了软件能在规定的时间内成功自我修复的有效性,有实时性要求的安全关键软件推荐使用;

⑱度量18)反映软件在设计开发阶段对可靠性设计、测试等相关规定的考虑与实现程度,但该度量的数据收集与计算十分困难,所以对于完整性级别较低的软件不推荐选用。

根据表6的选取结果,每种完整性级别下推荐的各类(基本、条件及参考)度量数统计如表7所列。

表7 每种完整性级别下推荐的各类度量数目统计

完整性级别	基本	条件	参考	合计
A	6	9	3	18
B	6	6	6	18
C	3	7	5	15
D	1	1	8	10

从表7可以得出如下结论:1)完整性级别越高,所推荐的各类度量数目就越多,例如完整性级别A所推荐选用的各类度量数为18,而D则只有10个。这是因为完整性级别要求越高,表明该软件的安全关键程度就越高,所以应当尽可能选用多种软件可靠性度量,以保证软件的过程实施和最终质量。2)完整性级别越高,所推荐的基本度量或条件度量就越多。反之,推荐的参考度量则越多。这是因为完整性级别要求高的软件一般都会分配较多的资源和时间,所以有条件在开发过程中关注多种类型的度量,而完整性级别低的软件本身的开发资源和时间很少,因此分配给度量数据收集和计算的时间与资源则更加稀少。

结束语 本文首先提出一种基于完整性级别的软件可靠性度量选取框架,包括度量选取体系和度量选取方法两部分内容。然后把该度量选取框架应用于ISO/IEC 9126质量模型中的18个外部软件可靠性度量,即根据度量的特点分别将这些度量不同程度地推荐给合适的完整性级别。实例应用结果表明,基于完整性级别的度量选取技术是系统且有效的,所

推荐的度量可以满足软件尤其是安全关键软件在不同完整性级别上的需求。本文旨在解决如何为不同完整性级别的软件选取合适的软件可靠性度量的问题,不但提供了解决该问题的思路和手段(选取方法和选取体系),而且给出了可供软件可靠性工程人员参考的度量选取结果(将 ISO/IEC 9126 质量模型中的 18 个软件可靠性度量分别推荐给合适的完整性级别)。所以,本文的研究成果在理论研究和工程实践上都有一定的参考价值。

参考文献

- [1] ISO/IEC 9126-1. Information Technology-Software quality characteristics and metrics-Part 1:Quality Model [S]. 2001
- [2] IEEE STD 982. 1. IEEE Standard dictionary of measures of the software aspects of dependability [S]. 2005
- [3] Lee Dalju, et al. An effective software reliability analysis framework for weapon system development in defense domain [C]// ISSRE. 2008;279-280(Fast Abstract)
- [4] Li Ming, Smidts C S. A ranking of software engineering meas-

ures based on expert opinion [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2003, 29(9):811-825

- [5] Li Haifeng, Lu Minyan, Li Qiuying. Software Reliability Metrics Selecting Method Based on Analytic Hierarchy Process [C]// The 6-th International Conference on Quality Software. 2006; 337-346
- [6] Tripp L L. International standards on system and software integrity [J]. StandardView, 1996, 4(3):146-150
- [7] ISO/IEC 15026. Information technology-System and software integrity levels [S]. 1998
- [8] 蔡开元. 软件可靠性工程基础 [M]. 北京:清华大学出版社, 1995
- [9] Smidts C, Li M. Validation of a Methodology for Assessing Software Quality [R]. UMD-RE-2002-07. College Park; Univ. of Maryland, May 2002
- [10] 军用软件可靠性度量研究 [R]. 国防科技报告. 2004
- [11] Debra S. Sample Implementation of the Littlewood Holistic Model for Assessing Software Quality [C]// Proceeding of Reliability and Maintainability. 1998

(上接第 118 页)

操作,反之,进一步判断子集内是否所有的 ID 号都在使用,若是,则转入步骤 6,进行生命期更新操作,若否,则转入步骤 7,进行 DPid 子集回收操作;

步骤 6 DPid 子集生命期更新操作;

步骤 7 DPid Server 轮询 DPid pool,若某一个 DPid 子集生命期终止,则直接回收此 DPid 子集;

步骤 8 DPid Client 将申请到的 DPid 子集按分配时间顺序存储,同时对每一个 DPid 均设置指示符 indicator;

步骤 9 移动终端 MS 发起数据通道的(预)建立;

步骤 10 DPid Client 从 DPid 子集中任取一个空闲值作为(预)建立的数据通道标识,同时置 indicator=1;

步骤 11 判断 DPid Client 中的可用 DPid 号是否少于 γ ,如果少于 γ ,则转入步骤 4,申请新的 DPid 子集,反之,不进行任何操作;

步骤 12 移动终端 MS 因退网或切换而执行数据通道拆除操作;

步骤 13 DPid Client 释放被拆除的数据通道的标识,并把此 DPid 重新设置成空闲状态,即置 indicator=0;

步骤 14 判断 DPid Client 中的可用 DPid 号是否多于 $\lambda + \gamma$,如果多于 $\lambda + \gamma$,则转入步骤 7,进行 DPid 子集回收操作,反之,则转入步骤 6,进行生命期更新操作。

3 DPid 动态分配方案有效性分析

对某一个 DPid 子集 $[(n-1)\lambda + 1, n\lambda]$, 当它被分给某个 BS(或 ASN-GW)时,那么从 BS(ASN-GW)入网的 MS,发起数据通道的建立或预建立时,Data Path ID 的取值可以是 $[(n-1)\lambda + 1, n\lambda]$ 中的任意值,因为 DPid Server 中的各个 DPid 子集是没有交集的^[10],所以,任取其中的一个 DPid 有效值,必是唯一的。

结束语 本文提出了一种 WiMax 系统中的数据通道标识的动态分配方法,以实现 DPid 的安全、可靠分配,它具有以下特点:

1. 通过 DPid Client 与 DPid Server 之间的信令交互,自

动完成 DPid 的分配、回收等工作,简化了 DPid 分配流程,降低了 DPid 管理难度和维护成本;

2. 通过设置 DPid 生命期,更加合理地生成和分配 DPid,提高了 DPid 的利用率;

3. 提供安全可信的配置,解决了 DPid 冲突的问题。

本文在对已有系统流程改动及影响最小的情况下,给出一种动态分配 Data Path ID 的方法,下一步的研究方向是通过添加认证信息等方法,使 Data Path ID 分发的安全性得到进一步的加强。

参考文献

- [1] WiMAX Network Working Group. WiMAX Forum Network Architecture(Stage 3; Detailed Protocols and Procedures, Version 1. 3. 0)[R]. California, 2008
- [2] WiMAX Network Working Group. WiMAX Forum Network Architecture(Stage 2; Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, Part2, Version 1. 3. 0)[R]. California, 2008
- [3] WiMAX Network Working Group. WiMAX Forum Network Architecture(Stage 2; Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, Abbreviations, Version 1. 3. 0)[R]. California, 2008
- [4] Solomm I D. Mobile IP: The Internet Unplugged[M]. 裘晓峰, 译. 北京:机械工业出版社, 2000
- [5] WiMAX Network Working Group. WiMAX Forum Network Architecture(Stage 2; Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, Part1, Version 1. 3. 0)[R]. California, 2008
- [6] 徐相胜, 牛作元. WiMAX 接入核心网络中的数据通道技术[J]. 现代电信科技, 2007, 5(11):49-52
- [7] 董晓鲁, 党梅梅, 沈嘉, 等. WiMAX 技术标准与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007
- [8] 张万强, 李东瑀, 张平. WiMAX 网络架构浅析[J]. 电信工程技术与标准化, 2006, 19(04):58-61
- [9] 陆凯, 徐旨胜. WiMAX 网络的切换技术研究[J]. 电力系统通信, 2007, 28(182):50-53
- [10] 邵志清, 虞慧群. 离散数学[M]. 北京:电子工业出版社, 2003