

# 无线 Mesh 网中可靠 SIP 呼叫连接的选路技术

李文翔<sup>1,2</sup> 沈元平<sup>1</sup> 吴静<sup>2</sup> 朱晗<sup>1</sup> 颜家军<sup>1</sup> 张旭<sup>1</sup>

(武汉科技大学信息科学与工程学院 武汉 430081)<sup>1</sup> (武汉大学电子信息学院 武汉 430079)<sup>2</sup>

**摘要** 在无线 Mesh 网中布设基于 SIP 的应用,是在缺少通信基础设施的地区实现多媒体应急通信的有效方式,但是易失效的无线链路会降低通信的可靠度。研究了如何在无线 Mesh 网中向 SIP 服务器高效地转发 SIP 呼叫请求消息。提出了一点对多点中任意一点的可靠度量模型,用于描述实时、有限尝试次数的呼叫连接通信的可靠性;基于呼叫成功率、呼叫连接速度这两个优化目标提出了一种路集选择方法,并展开了对这种方法的通信可靠度上下界的分析和比较;最后通过仿真实验验证了此路集选择方法的有效性和优越性。

**关键词** 路集选择, SIP 呼叫, 无线 Mesh 网, 可靠度

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Reliable Route Selection Technique for SIP Calling Connection in Wireless Mesh Networks

LI Wen-xiang<sup>1,2</sup> SHEN Yuan-ping<sup>1</sup> WU Jing<sup>2</sup> ZHU Han<sup>1</sup> YAN Jia-jun<sup>1</sup> ZHANG Xu<sup>1</sup>

(School of Information Science & Engineering, Wuhan University of Science & Technology, Wuhan 430081, China)<sup>1</sup>

(School of Electronics Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Deploying SIP based application in wireless mesh networks can provide ubiquitous multimedia emergency communication in infrastructureless areas, but unreliable wireless links may decrease communication reliability. This paper investigated the route selection method for message forwarding in wireless mesh networks. A new reliability model was proposed to measure the one-to-anyone-from-many communication for real-time calling setup with limited number of attempts. A route selection method was proposed for optimizing calling success ratio and calling setup speed, followed by theoretical analysis and comparison on upper and lower bound for communication reliability. Finally, a series of simulation experiments were designed and conducted to verify the effectiveness and superiority of the method.

**Keywords** Route selection, SIP calling, Wireless mesh networks, Reliability

随着对应急通信需求的不断增长,如临时集合、抢险救灾等场合,越来越多的研究关注如何在缺少通信基础设施的环境中快速、高效地布设网络连接。会话发起协议(SIP)<sup>[1]</sup>作为TCP/IP协议栈的应用层信令协议,被用来在IP网中建立、更改和终止多媒体会话。另一方面,无线Mesh网(WMN)<sup>[2]</sup>作为一种便捷的、在没有通信基础设施的地区延伸和实现宽带接入的技术,由基本固定的、具有稳定能源供应的无线路由器(MR)和具有移动性的Mesh客户端(MC)组成。在应急通信场合,部署WMN并在其中开展SIP应用来实现多媒体会话,是一种简单可行的方案。在WMN中的多个MR节点上将布设SIP服务器,用来提供冗余和高性能。某个MC发出呼叫请求消息,该消息首先会被发送到MC所连的MR,由此MR选择路由将此消息发向某个服务器。

无线链路易于受到信号衰落、邻信道干扰、噪声、天气、地形等因素的影响<sup>[3]</sup>,很难预测和描述何时何地链路会中断。网络拓扑会因此频繁、随机地变化,需要从通信可靠性的角度设计网络。本文针对处于不可靠无线环境下的WMN骨干网,研究如何在有限呼叫尝试次数内,选择最佳的路由集向SIP服务器发送呼叫请求消息,用来提升SIP服务的可靠性

和实时性。

本文第1节总结了WMN中路由选择的相关工作,分析了其中方法的优缺点;第2节提出了一种新的可靠度计算模型;第3节针对SIP呼叫的特点设计了有限尝试次数的路集选择方法,并对此路集的通信可靠度进行了上下界理论分析;第4节针对SIP呼叫成功率和呼叫连接速度这两个指标,通过NS-2平台下的仿真实验,验证了此路集选择方法相比传统方法的有效性和优越性,并分析了链路失效概率、呼叫尝试次数等参数对网络性能的影响规律。

## 1 相关工作

跳数是无线多跳网络中大多数路由协议所采用的指标,在这些协议中基于最少的跳数选择路径。它的缺点在于该指标将网络中的所有链路视为等同,并未考虑链路负载、容量、信道差异和链路受到的干扰。路径的期望传输次数(ETX)<sup>[4]</sup>作为另外一个指标,定义为在路径上成功传送一个数据包所需的次数,该指标倾向选择具有更高吞吐量和低跳数的路径。其缺点在于:数据包的传输成功率需要在TCP/IP协议栈的MAC层或更高层测量,取决于数据包的大小和发送速率,故

到稿日期:2010-05-30 返修日期:2010-09-29 本文受国家自然科学基金项目(60903195)和湖北省教育厅科技研究项目(B201011101)资助。

李文翔(1979-),男,博士生,讲师,主要研究方向为下一代互联网, E-mail: liwx2001@yahoo.com.cn; 沈元平(1989-),男,主要研究方向为无线通信; 吴静(1981-),女,博士,讲师,主要研究方向为无线通信网络。

该指标不够客观。此外该指标未考虑链路的负载,所产生的路由可能穿过负载较重的节点,从而导致资源使用不均衡。SIP呼叫连接的关键特性为呼叫成功率和呼叫连通速度。由于SIP消息占用带宽少,因此不必考虑负载均衡和吞吐量等因素,而应将不可靠无线环境的路径可靠度作为路由指标,其可由包交付率、误比特率<sup>[5]</sup>等参数来衡量。

针对WMN的可靠度研究来自文献[6-8]。文献[6]中提出了计算所有链路和节点的失效概率的方法,提升了Mesh节点选择到MR的最可靠路径的能力。文献[7]提出了引入冗余节点提升网络可靠度的方法。除了针对稳态可靠度的分析,还进行了针对瞬时可靠度行为的探讨。文献[8]提出了用于WMN骨干网的2-终端可靠度计算策略,该方案基于WMN的实际拓扑结构,并充分考虑到了无线节点和链路失效的影响。但以上的工作仅仅关注点对点通信的2-终端可靠度,且在计算可靠度时考虑全部的路由,故这些方法不适用于尝试次数和实际采用路由数目均有限的实时SIP呼叫连接。

## 2 通信可靠度模型

在WMN中实现SIP服务通信,其实时性要求高,呼叫尝试次数有限,因此可从多个SIP服务器中选择一个作为呼叫请求对象,针对这些特点,开发出一种新的通信可靠度模型。

### 2.1 网络模型

WMN的骨干网可以描述为一个有向图 $G(V, E)$ ,其中 $V$ 代表由MR构成的顶点集, $E$ 代表由MR间的无线链路所构成的边集。给定两个顶点,它们之间的两条双向边可能具有不同的链路失效概率。文中采用了边失效模型,假设节点都是可靠的,而边具有一定的失效概率,且边失效的概率彼此独立。

### 2.2 可靠度计算的传统模型和方法

令源点 $s_j$ 表示WMN中最先发出SIP呼叫消息的MR所对应的图顶点,汇点集 $T$ 为SIP服务器对应的图顶点 $t_i$ 的集合, $T = \cup\{t_i, i=1, 2, \dots, K\}$ 。根据源点和汇点的不同,网络可靠度表示为3种形式<sup>[9]</sup>:

1) 2-终端可靠度 $Rel_2(s, t)$ :节点对 $(s, t)$ 能够通信的概率。

2) 全终端可靠度 $Rel_A(s, V - \{s\})$ :节点 $s$ 能和连通图中所有其它节点通信的概率。

3)  $K$ 终端可靠度 $Rel_K(s, T)$ :节点 $s$ 能和点集 $T$ 中的所有节点通信的概率。

目前计算可靠度的方法<sup>[10]</sup>有很多,诸如容斥原理法(IE)、不交和法(SDP)和因子定理法(PD)。其中比较简单的是SDP法,其计算方法基于最小路集。连接源点 $s_j$ 和终点 $t_i$ 的一组边称为路径,最小路径是如果去掉其中的一条边就不再成为路径的路径,路径 $P$ 的可用度 $Pr(P)$ 为路径正常工作的概率,即路径中无失效边的概率。令路径 $P$ 为 $\{l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow l_3 \dots \rightarrow l_n\}$ , $l_i$ 为 $P$ 中的边, $Pr(l_i)$ 为 $l_i$ 正常工作的概率,则路径可用度为 $Pr(P) = \prod_{i=1}^n Pr(l_i)$ 。两点间所有的最小路径组成的集合被称为最小路集。若 $P_i (i=1, 2, \dots, N)$ 为顶点 $s$ 和 $t$ 之间的最小路径,则 $P_i$ 的集合为最小路集,若 $A_i (i=1, 2, \dots, N)$ 为 $P_i$ 中所有边都正常的概率,则给定源点 $s$ 和汇点 $t$ 的通信可靠度,用不交和表示为:

$$\begin{aligned} Rel_2(s, t) &= Pr(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_N) \\ &= Pr(A_1) + Pr(\bar{A}_1 A_2) + \dots + Pr(\bar{A}_1 \bar{A}_2 \dots \bar{A}_{N-1} A_N) \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.3 一对多点中任意一点的通信可靠度

传统的 $Rel_2(s, t)$ 可靠度模型描述的是一点对一点能够通信的可靠度,而 $Rel_K(s, T)$ 描述的是一点对所有 $K$ 个节点都能通信的可靠度,这些模型不适合这里的情况:将来自一个MR的呼叫连接消息转发到 $K$ 个服务器中的任意一个。需要定义一个新的可靠度模型 $Rel_{1/K}(G)$ ,描述源点能够连接到 $K$ 个汇点中的任意一个的概率,这里 $1/K$ 代表在 $K$ 个中任选一个。

**定义1**  $1/K$ 呼叫路集 $P(s_j, T)$ :从 $s_j$ 到所有汇点集合 $T$ 的最小路集,即从 $s_j$ 到 $t_i$ 的所有最小路集的并集, $P(s_j, T) = \cup\{P(s_j, t_i), t_i \in T\}$ 。

**定义2**  $1/K$ 终端可靠度 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ :源点 $s_j$ 能连接到 $T$ 的概率,即连接任意一个而不是每一个汇点的概率。

定理1给出了 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ 的下界。

**定理1**  $1/K$ 终端可靠度 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ 不小于从 $s_j$ 到 $t_i$ 的所有2-终端可靠度的最大值,即 $\text{Max}(Rel_2(s_j, t_i)) \leq Rel_{1/K}(s_j, T)$ 。当 $K=1$ 时等式成立。

证明:当 $K=1$ 时, $T = \{t_i\}$ , $Rel_{1/K}(s_j, T)$ 等同于传统的2-终端可靠度 $Rel_2(s_j, t_i)$ ,汇点和路径对于 $Rel_2(s_j, t_i)$ 和 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ 都相同,故等式成立。

当 $K>1$ 时,假定 $Rel_2(s_j, t_q)$ 是所有2-终端可靠度中最大的,从 $s_j$ 到 $t_q$ 的路径为 $P(s_j, t_q)$ 。而对 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ ,应该考虑 $P(s_j, T)$ 中所有的路径。因为 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q, \dots, t_K\}$ , $P(s_j, T) = P(s_j, t_1) \cup P(s_j, t_2) \cup \dots \cup P(s_j, t_q) \cup \dots \cup P(s_j, t_K)$ 。显然除了 $P(s_j, t_q)$ ,有更多的路径用来计算 $Rel_{1/K}(s_j, T)$ ,其可靠度显然要高些。

## 3 路集选择方法

### 3.1 路集选择的原则

从源点到多个汇点通常有多条路径,倾向选择具有最短跳数的路径。但是现有的选路方案(如最小跳数)无法体现这些路径的可靠度差异,也就无法体现用各条路径通信的呼叫连通率的高低。基于SIP的应急通信对连通时间要求严格,用户希望尽快连通。如果一个用户在最大尝试次数内没有连通成功,他将放弃呼叫,因此需要优先使用具有高可靠度的路径。

这里实时SIP呼叫的思路是:基于新的可靠度模型,选择满足性能要求(如呼叫连通速度、呼叫成功率)的 $n$ 个路径,而不是所有路径都进行呼叫连接尝试,并合理安排这些路径的使用顺序。当呼叫进行时,首先采用第一路径。若之前的路径在超时间隔内未能建立连接,后一条路径被采用。如果所有的 $n$ 个路径都未能成功地在 $n$ 次尝试内建立连接,则呼叫被终止。以上的 $n$ 个路径由下文所定义的呼叫路集进行选择 and 排序。

### 3.2 基于 $Rel_{1/K}(G)$ 模型的选路

**定义3**  $n$ 次最可靠 $1/K$ 呼叫路集 $P^n(s_j, T)$ :它是含 $n$ 条路径的 $1/K$ 呼叫路集,并针对 $n$ 次尝试的整体呼叫成功率进行了优化,而路集中的第一路径不一定提供最高的可用度。求此路径的具体方法为:

1) 对 $P(s_j, T)$ 中的每个路径求得路径可用度。

2) 令 $M$ 为 $P(s_j, T)$ 中的路径数,取得含 $n$ 条路径的所有路径组合,每个组合为一个候选的呼叫路集。组合的总数为 $C_M^n$ 。

3)对组合  $C_i$ ,随机安排其中  $n$  条路径的顺序,记第  $i$  条路径为  $P_i^i$ ,用  $C_i$  中的  $n$  条路径而不是  $P(s_j, T)$  中的所有路径计算  $1/K$  终端可靠度,即

$$\text{Rel}(C_i) = \Pr(P_i^1) + \Pr(\overline{P_i^1} P_i^2) + \Pr(\overline{P_i^1} \overline{P_i^2} P_i^3) + \dots + \Pr(\overline{P_i^1} \overline{P_i^2} \dots \overline{P_i^{n-1}} P_i^n) \quad (2)$$

4)选择具有最高可靠度的组合,组合所对应的呼叫路集能取得  $n$  次尝试的最高总体呼叫成功率。

5)最后基于路径可用度安排这些路径的使用顺序。首先具有最高可用度的路径被选为第一路径  $P^1$ 。之后在第  $m$  次排序中,对剩余未排序的  $n-m+1$  条路径中的每条路径  $P^i$ ,计算当之前选中的路径都失效时,  $P^i$  有效的概率,即条件概率  $\Pr(\overline{P_i^1} \overline{P_i^2} \dots \overline{P_i^{m-1}} P_i^m)$ ,取出具有最高概率的路径  $P^m$ 。以这种方法安排  $n$  条路径的顺序,路集的求取过程结束。

定义4  $n$  次  $1/K$  终端可靠度  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$ :源点  $s_j$  用  $n$  次最可靠  $1/K$  呼叫路集  $P^n(s_j, T)$ ,在最多  $n$  次尝试内连通到  $T$  的概率。

定理2 给出了  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  的下界。

定理2 对每个节点对  $(s_j, t_i)$ ,找出从  $s_j$  到  $t_i$  具有最高可用度的一条路径,基于此路径计算所得的  $2$ -终端可靠度记为  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)$ ,则  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  大于等于任意的  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)$ ,  $t_i \in T$ ,即  $\text{Max}(\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)) \leq \text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$ ,当  $K=1$  时,等号成立。

证明:当  $K=1$  时,  $T=\{t_i\}$ ,  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)$  和  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  的汇点与路径都分别相同,故等号成立。

当  $K>1$  时,假定  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_q)$  在所有  $2$ -终端可靠度  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)$  中是最高的,从  $s_j$  到  $t_q$  的路集  $P(s_j, t_q)$ ,计算  $\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)$  所用的唯一一条路径为  $[P^1]_q$ 。从  $s_j$  到  $T$  的  $1/K$  连接路集为  $P(s_j, T) = P(s_j, t_1) \cup P(s_j, t_2) \cup \dots \cup P(s_j, t_q) \cup \dots \cup P(s_j, t_K)$ ,假定计算  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  所用的唯一一条路径为  $[P^1]_p$ ,其可用度在  $P(s_j, T)$  中为最高。由于  $P(s_j, t_q) \subset P(s_j, T)$ ,路径可用度  $\Pr([P^1]_q) \leq \Pr([P^1]_p)$ ,有  $\text{Max}(\text{Rel}_2^1(s_j, t_i)) \leq \text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$ 。

定理3 给出了  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  的上界。

定理3  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T) \leq \text{Rel}_{1/K}(s_j, T)$ ,当  $P(s_j, T)$  中的路径数目不大于  $n$  时,等号成立。

证明:计算  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$  需要  $P(s_j, T)$  中的  $n$  条路径,而计算  $\text{Rel}_{1/K}(s_j, T)$  需要  $P(s_j, T)$  中的全部路径。由于有更多的路径提供选择,  $P^n(s_j, T) \subset P(s_j, T)$ ,  $\text{Rel}_{1/K}(s_j, T)$  大于等于  $\text{Rel}_{1/K}^n(s_j, T)$ 。当  $P(s_j, T)$  中的路径数目不超过  $n$  时,有  $P^n(s_j, T) = P(s_j, T)$ ,等号成立。

## 4 性能评估

### 4.1 仿真设置

通过仿真实验,对本文提出的路集选择方案(Rt-Rel)和传统的基于跳数的路由集合选择方案(Rt-Hop)进行性能比较分析。在 Rt-Hop 方案中,选择具有最小跳数的  $n$  条路径作为路集,并按跳数增大的顺序对这些路径进行排序。所关注的性能指标为呼叫成功率(CRatio)和平均呼叫尝试次数(CANum)。其中后者定义为

$$\text{CANum}_n = 1 \cdot \Pr(P^1) + 2 \cdot \Pr(\overline{P^1} \cdot P^2) + \dots + n \cdot \Pr(\overline{P^1} \cdot \overline{P^2} \cdot \dots \cdot \overline{P^{n-1}} \cdot P^n) \quad (3)$$

所用的示例 WMN 如图 1 所示,含有 19 个 MR 节点和

25 条无线链路边(图中虚线所示)。

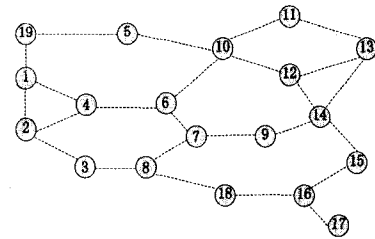


图1 示例 WMN 拓朴

为了体现链路的异构性,将网络中的链路质量分为 3 类,并为每个链路随机地分配 1 类链路质量。设置了 10 个链路失效等级(记为 FR $x$ ),从 FR1 到 FR10,链路丢包率( $p_i$ )等差递增,如表 1 所列。

表1 不同链路失效等级下的链路丢包率( $p_i$ )

链路质量	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8	FR9	FR10
1 类	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
2 类	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23
3 类	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26

服务器节点的选择取决于到此节点通信的可靠度。对每个候选节点  $v_i$ ,计算所有其它节点  $v_j$  到  $v_i$  的 1 次  $2$ -终端可靠度  $\text{Rel}_2^1(v_j, v_i)$  的总和,选择通信可靠度总和为最高的 3 个顶点作为服务器,在此例中选中的 3 个顶点为 1,10,16。

仿真实验在 NS-2 下进行。在 NS-2 的无线物理层数据包接收代码中实现丢包模型,以体现各链路以预定概率随机失效的效果。基于不同的参数,如最大呼叫尝试次数( $n=2, 3$ ),链路丢包率(从 FR1 到 FR10)和选路方案(Rt-Hop, Rt-Rel),设置不同的仿真场景。在每个场景中,仿真持续 60 秒,每个 MR 节点以 100 包/秒的速率,根据预定的路由向对应的服务器发送 CBR 流量。

### 4.2 仿真结果分析

指标 CRatio 的仿真结果如图 2 所示。可以观察到当链路失效概率增大时,CRatio 也随着下降,且 Rt-Rel 方案总是优于 Rt-Hop 的。

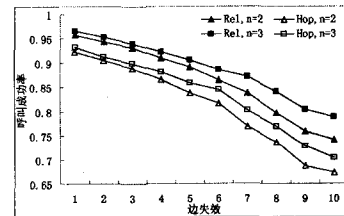


图2 不同路集选择方法的呼叫成功率比较

当链路失效概率较低时,Rt-Rel 方案在  $n=2$  与  $n=3$  时的 CRatio 差别不大。其原因在于当链路质量相对较好时,链路的丢包率较低,故大多数呼叫能够用第一次尝试完成,两种情况下的结果相似;而当链路质量下降明显时,CRatio 在不同尝试次数下的差别开始变得明显, $n=3$  时的结果要优于  $n=2$  时的,原因在于不佳的链路质量需要更多的尝试次数来完成呼叫,而提供更多的尝试次数能有效地提升查询成功率。

指标 CANum 的结果如图 3 所示。可以观察到随着链路质量的下降,CANum 不断增加,这是因为越来越频繁的传输失败会导致越来越多的重新尝试。Rt-Rel 的 CANum 总是小于 Rt-Hop 的,体现了 Rt-Rel 方案所选路集在呼叫连接速度

(下转第 174 页)

ving software robustness[J]. Computer Science, 2003, 30(9): 169-172

[2] Illard R M P, Murphy G C. Static analysis to support the evolution of exception structure in objec-oriented systems [J]. ACM Transactions on Software Engand Methodology, 2003, 12(2): 1912-1921

[3] Lemos R D, Romanovsky A. Exception handling in the software lifecycle[J]. International Journal of Computer Systems Science and Engineering, 2001, 16(2): 167-181

[4] Chan K S M, Bishop J, Steyn J, et al. A Fault Taxonomy for Web Service Composition[C]//Proceeding of International Conference on Service-Oriented Computing (ICSOC 07). Springer, 2007, 363-375

[5] Russell N, van der Aalst W, ter Hofstede A. Workflow exception patterns[C]//Proceeding of 18th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (ICAISE06). Springer, 2006: 288-302

[6] Lerner B S, Christov S, Osterweil L J, et al. Exception Handling Patterns for Process Modeling[J]. IEEE Transactions On Software Engineering, 2010, 36(2): 162-183

[7] Castor F F, Romanovsky A, et al. Improving reliability of cooperative concurrent systems with exception flow analysis[J]. Journal of Systems and Software, 2009, 82(5): 874-890

[8] Pereira D P, de Melo A C V. Formalization of an architectural model for exception handling coordination based on CA action concepts[J]. Science of Computer Programming, 2010, 75(5): 333-349

[9] Cai C, Qiu Z, Yang H, et al. Global-to-Local Approach to Rigorously Developing Distributed System with Exception Handling [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2009, 24(2): 238-249

[10] Brito P H, de Lemos R, Rubira C M, et al. Architecting Fault Tolerance with Exception Handling: Verification and Validation [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2009, 24(2): 212-237

[11] Feiler P, Rugina A. Dependability Modeling with the Architecture Analysis & Design Language (AADL) [R]. CMU/SEI-2007-TN-043, 2007: 1-76

[12] Hamadi R, Benattallah B, Medjahed B. Self-adapting recovery nets for policy-driven exception handling in business processes [J]. Distributed And Parallel Databases, 2008, 23(1): 1-44

[13] 窦万春, 席晓鹏, 许列飞, 等. 面向意外处理的工作流系统建模与执行[J]. 计算机学报, 2003, 26(9): 1094-1103

[14] 范贵生, 虞慧群, 陈丽琼, 等. 基于 Petri 网的服务组合故障诊断与处理[J]. 软件学报, 2010, 21(2): 231-247

(上接第 132 页)

上的优越性。当链路质量相对较好时, Rt-Rel 方案在  $n=2$  和  $n=3$  时的 CANum 接近, 这是因为大多数呼叫连接可由第一条路径来完成; 当链路质量显著下降时,  $n=2$  时的 CANum 要小于  $n=3$  时的, 原因在于不佳的链路质量使得尝试次数增加, 后继的路径将更多被采用, 路集中后继路径的差异性的影响开始显现。

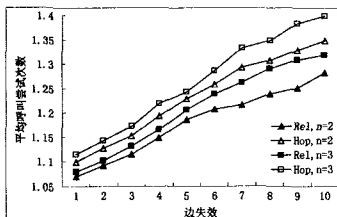


图3 不同路集选择方法的平均呼叫尝试次数比较

**结束语** 本文对 SIP 呼叫连接消息的选路问题进行了研究, 提出了用于描述一点对多点中任意一点的可靠度计算模型, 以及用于优化呼叫成功率和呼叫连通速度的选路方法。文中给出了该方法的理论分析和比较, 以及验证方法有效性的仿真实验。文中提出的  $n$  次最可靠  $1/K$  呼叫路集能提供最高的  $n$  次尝试内总呼叫成功率, 同时在每次尝试中优先选择成功率最高的路径, 以实现最快的连通。随着最大尝试次数的增加, 总呼叫成功率会提升, 但是呼叫时延及呼叫尝试次数会增加, 因而需要在网络链路质量不佳时仔细地权衡选择最大呼叫尝试次数, 以实现两个性能指标的折中。

深入的工作包括应对网络拓扑变化的周期式路由更新策略, 并有必要探讨如何将多个 SIP 服务器按 P2P 的方式优化组织, 为大型无线 Mesh 网 (如含有几百个无线 MR 的城域 Mesh 网) 提供高可靠度的连接、高效的资源发布以及消息的转发。

## 参考文献

[1] Rong Bo, Qian Yi, Chen Hsiao-hwa. An enhanced SIP proxy server for wireless VoIP in wireless mesh networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(1): 108-113

[2] Akyildiz I F, Wang Xu-dong. A survey on wireless mesh networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(9): 23-30

[3] Hsu Chun-yen, Wu Jean-lien C, Wang Shun-te, et al. Survivable and delay-guaranteed backbone wireless mesh network design [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2008, 68(3): 306-320

[4] De Couto Douglas S J, Aguayo D, Bicket J, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[J]. Wireless Networks, 2005, 11(4): 419-434

[5] Angelos V, Kong L L, Ioannis B, et al. Assessing link quality in IEEE 802. 11 wireless networks; Which is the right metric? [C]// Proceedings of 19th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008

[6] 何明, 裘杭萍, 胡爱群, 等. Mesh 网的可靠性评价方法研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(SUPPL. 1): 222-225

[7] Egeland G, Engelstad P E. The Availability and Reliability of Wireless Multi-Hop Networks with Stochastic Link Failures [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communicaions, 2009, 27(7): 1132-1146

[8] 赵蕴龙, 单宝龙, 高振国, 等. 无线 Mesh 网骨干层 2-终端可靠性计算策略[J]. 计算机学报, 2009, 32(3): 424-431

[9] Zhao Lian-chang, Kong Fan-jia. New formula and an algorithm for reliability analysis of networks[J]. Microelectronics Reliability, 1997, 37(3): 511-518

[10] Weh Wei-chang. A greedy branch-and-bound inclusion-exclusion algorithm for calculating the exact multi-state network reliability[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2008, 57(1): 88-93