

# 4G 移动 VPDN 业务故障分析及 维护建议

## Suggestions on Malfunction Analysis and Maintenance of 4G Mobile VPDN

郭威,张科锋,李红振,刘彦君(中国联通河南省分公司,河南 郑州 450005)  
Guo Wei,Zhang Kefeng,Li Hongzhen,Liu Yanjun(China Unicom Henan Branch,Zhengzhou 450005,China)

### 摘要:

4G网络的大规模部署和高速接入便捷优势,促使越来越多的企业网用户采用移动VPDN作为业务实现的解决方案。接入方式和终端的多样性导致部分场景下业务触发失败,影响用户体验。通过对某企业的4G移动VPDN失败案例分析,给出设置企业网接入点(APN)的注意事项和移动VPDN业务维护保障的建议。

### 关键词:

移动VPDN;PDN连接;承载;接入点  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.01.014  
中图分类号:TN929.5  
文献标识码:A  
文章编号:1007-3043(2019)01-0063-06

### Abstract:

With the massive deployment of 4G network and convenient high-speed access, more and more enterprise network users adopt mobile VPDN as the solution for business implementation. The diversity of access modes and terminals leads to service trigger failure in some scenarios which affects the user experience. Through the analysis of VPDN failure, it provides some considerations for the APN setup of enterprise network and some suggestions for mobile VPDN service maintenance.

### Keywords:

Mobile VPDN; PDN connection; Bearer; APN

引用格式:郭威,张科锋,李红振,等. 4G移动VPDN业务故障分析及维护建议[J]. 邮电设计技术,2019(1):63-68.

## 0 引言

相比传统的固定VPDN(Virtual Private Dial-up Networks)接入方式,移动VPDN接入方式由于接入简便灵活,不受地域和物理线路限制等优点,被越来越多的企业客户采用。通过移动数据业务方式,企业不仅可以快速实现业务的接入和办理,而且能够大幅提高企业运营生产效率,常见的应用有移动办公,移动电力抄表,移动执法,移动视频监控等。伴随4G网络的大规模部署,借助4G网络制式的高速率和扁平组网优势,移动VPDN可以为企业提供更快速的接入和更

优的业务感知。

通常企业的移动VPDN业务接入使用的是专门标识的APN(Access Point Name),由于企业采用的终端设备存在多样性,在4G网络下实现业务时,某些硬件设置不合理可能导致业务触发失败。本文通过对某驾校考场使用4G上网卡进行考试视频接入失败的案例,详细分析了故障的定位过程,并给出移动VPDN业务维护保障的建议。

## 1 4G移动VPDN业务基本流程

现网中,4G移动VPDN连接过程中主要经过终端、无线网络、移动核心网、移动VPDN管理平台、企业网5个环节,如图1所示。

收稿日期:2018-12-25

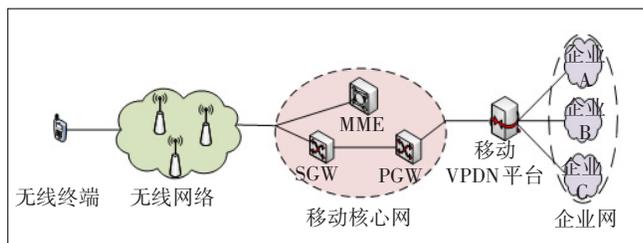


图1 现网移动 VPDN 基本网络架构

其中移动 VPDN 平台位于移动网络和企业网之间,用于企业用户接入的管理,主要包括以下 2 个功能。

a) 管理分配用户的地址,可以实现动态地址和静态地址的分配(将 MSISDN 号码或 IMSI 与地址绑定)。

b) 通过 VPDN 平台与客户网络进行连接的统一管理,根据不同用户的需求采取专线方式或 MPLS VPN 方式。

### 1.1 现网 4G 移动 VPDN 业务触发过程

终端开机后通过无线网络先后发起“附着”和“激活”的请求,首先通过 MME 完成鉴权认证,完成“附着”流程,接着发起“激活”流程,向 MME 发起 PDN 连接请求并携带用于接入的 APN 参数,该请求的目的是建立终端与业务网络之间的数据连接,创建一个默认承载通道。MME 将“激活”请求指示给 SGW,再由 SGW 依次传递给 PGW 和移动 VPDN 平台,平台为终端分配接入的 IP 地址,并在响应消息中依次传递下去直到终端,终端用获得的地址,通过无线网络经过 SGW、PGW 和移动 VPDN 平台,与企业网络建立连接。

### 1.2 4G 网络中 PDN 连接和承载的概念

根据 4G 网络规范,1 个特定的 PDN(Packet Data Network)连接里包含有 1 个 APN 和 1 个 IPv4 地址,1 个 PDN 里面可以有多个承载,承载的标识 Bearer ID 由 MME 分配,Bearer ID 的范围为 5~15。1 个 UE 最多有 11 个承载,每个承载的 Bearer ID 是不能重复的,1 个 UE 可以有多个 PDN 连接,不同 PDN 连接通过 APN 和 IP 地址的组合来区分,无论有多少个 PDN,1 个 UE 所有 PDN 连接里合计的承载数量是不会超过 11 个(见图 2)。

### 1.3 企业 APN 与普通通用 APN 的区别

普通手机终端上网一般不需要设置 APN,通常在手机终端中的配置文件里已经保存有全球多家运营商的常用 APN,放入 SIM 卡后手机会自动适配相应的运营商 APN,比如选择中国联通的 SIM 卡,那么终端里

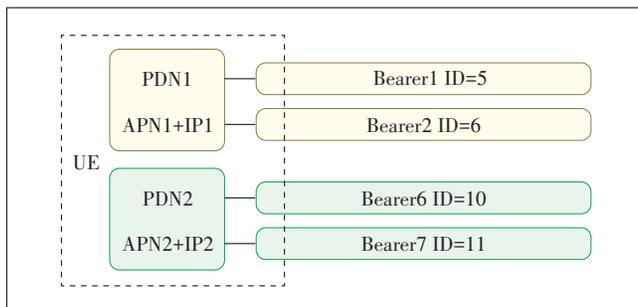


图2 PDN 连接和 Bearer 的关系

的 APN 设置项里自动显示出 3gnet。移动 VPDN 企业网用户使用的是标识该企业的特殊 APN,并不是常见通用的 APN,一般情况下需要在终端上手动输入。

在实际网络中,不同企业的接入需求不尽相同,接入终端类型也存在多样性,在触发业务的过程中,不同类型终端的规范存在一定差异,在某些场景下会导致业务不能正常使用,从而影响业务感知,下面来分析一个典型的终端问题导致的 4G 移动 VPDN 业务触发失败的复杂案例。

## 2 4G 移动 VPDN 业务触发失败案例分析

### 2.1 故障现象

某地(市)驾校用移动 VPDN 将考试视频实时传送给考试中心,视频采集设备通过上网卡接入 4G 网络,企业使用的 APN 为 aygajjzjgk.spjk.haapn,出现问题前终端采用动态分配地址的方式,业务使用正常。期间驾校更换某款新上网卡,并提出将动态地址分配改为固定地址分配,实施后出现业务无法正常使用的情况。而同地区其他没有更换终端、使用动态地址分配方式的驾校,业务均能正常使用。

### 2.2 故障分析定位

从故障现象初步判断,造成业务无法使用的原因有 2 个方面,一个是终端问题,另一个是移动 VPDN 平台分配地址问题,经平台侧检查分配地址机制正常,未有异常现象,且未更换终端前业务一直能正常使用,没有出现无法使用的情况,所以重点考虑终端的问题。

#### 2.2.1 检查故障号码的签约信息

通过 MME 查询故障号码的当前签约信息(限于篇幅,只列出与问题有关的主要信息),如表 1 所示。

该号码签约只有一个企业 APN,其序号 EPS Subscribed Num 为 1,即在 HSS 里签约的第 1 个 APN 为该企业 APN。通常情况下,MME 上可以设置自动纠错功

表1 故障用户签约信息

属性		值
User Basic Subscribed Info	IMSI	*****8415
	MSISDN	*****5718
EPS Sub- scribed Info	EPS Subscribed Num	1
	Context Identifier	8
	PDN Type	IPv4(0)
	APN	aygajzjdjgk.spjk.haapn

能,如果触发的APN是未签约的,可将APN改为指定的APN或者签约的第1个APN,用来防止终端发起的APN无效造成业务激活失败,现网里采取的是无效APN更改为签约的第1个APN的策略。结合本案例,用户签约的第1个APN为企业APN,一旦请求无效,MME将自动将其纠正。同时用户的签约信息能在MME上查询到,表明该号码不存在鉴权失败的问题,排除开卡的问题。

### 2.2.2 检查正常号码会话状态信息

通过MME查询正常号码的签约信息,跟故障号码一样,都是只签约了企业APN,再来查询一下正常号码的会话状态信息,如表2所示。

表2 业务正常号码的会话信息

属性		值
PDN Con- nection Info	APN in Use	aygajzjdjgk.spjk.haapn.apn.epc.mnc001.mcc460.3gppnetwork.org
	APN Restriction	0
	PDN Type	IPv4(1)
	PDN Address	IPv4:10.33.39.101
EPS Bearer Info	EPS Bearer Num	1
	EPS Bearer ID	5
	Linked EPS Bearer ID	5
PDN Con- nection Info	APN in Use	aygajzjdjgk.spjk.haapn.apn.epc.mnc001.mcc460.3gppnetwork.org
	APN Restriction	0
	PDN Type	IPv4(1)
	PDN Address	IPv4:10.33.39.128
EPS Bearer Info	EPS Bearer Num	1
	EPS Bearer ID	6
	Linked EPS Bearer ID	6

从会话信息中看到正常的号码出现了2个PDN连接(红色框),2个PDN连接里包含的APN名称(黄色框)是相同的,都是aygajzjdjgk.spjk.haapn,2个PDN的IP地址没有重复(绿色框)。正常号码的会话信息里虽然APN名称相同,但IP地址不同,所以出现2个

PDN连接是没有问题的。

故障号码与正常号码的签约信息相同,都只签约了1个企业网APN,区别在于上网卡和地址分配机制,那么正常号码为什么能触发2个同样名称的PDN连接,是如何实现的?更换的上网卡是导致失败的原因吗?带着疑问,对正常号码的信令做进一步的分析。

### 2.2.3 正常号码信令分析

首先分析一下MME侧的信令,如表3所示。

表3 正常号码MME侧的信令

时间	协议类型	方向	消息类型
15:37:08	SM	发送①	Activate default EPS bearer context request
15:37:08	SGS	发送	Location update request
15:37:08	S1AP	发送	Initial contex setup request
15:37:08	SGS	接收	Location update accept
15:37:08	MM	发送	Attach accept
15:37:08	S1AP	接收	UE capability info indication
15:37:08	S1AP	接收	Initial contex setup response
15:37:08	S1AP	接收	Uplink NAS transport
15:37:08	MM	接收	Attach complete
15:37:08	SGS	发送	TMSI reallocate complete
15:37:08	SM	接收②	Activate default EPS bearer context accept
15:37:08	GTP	发送	Modify bearer request
15:37:08	GTP	接收	Modify bearer response
15:37:19	Diameter-APP	发送	Notify request
15:37:19	Diameter-APP	接收	Notify answer
15:37:19	S1AP	接收③	Uplink NAS transport
15:37:19	SM	接收④	PDN conectivity request
15:37:19	GTP	发送⑤	Create session request
15:37:19	GTP	接收	Create session response
15:37:19	SM	发送⑥	Activate default EPS bearer context request
15:37:19	S1AP	发送	E-RAB setup request
15:37:19	S1AP	接收	E-RAB setup response
15:37:19	S1AP	接收	Uplink NAS transport
15:37:19	SM	接收⑦	Activate default EPS bearer context accept

通过①②号信令的详细解码(见图3),可以看到首个PDN请求使用的是企业网APN,该APN为用户输入的接入点名称,Bearer ID为5,IP地址为10.33.39.101,该地址是企业网平台分配的,激活承载的请求成功。

而在④信令里(见图4),MME接收到了第2个PDN连接的请求,使用的APN为3gnet,前面已提到过该号码只签约了企业网APN,并没有签3gnet,所以可

```

Activate default EPS bearer context request
0101...=EPS bearer identity 0x05
...0010=Protocol discriminator: PES session management messages (0x02)
Procedure transaction identity: 0x01
ESM Message Type: Activate default EPS bearer context request(0xC1)
.....
Access Point Name
Length of Access Point Name Contents: 42 (Bytes)
Access point Name: aygajjzjgk.spjk.haapn.mnc001.mcc460.gprs
PDN address
Length of PDN Address; 5 (Bytes)
0000 0...=Spare: 0x00
...001=PDN Type Value: IPv4(0x01)
IPv4 Address: 10.33.39.101
    
```

图3 首个PDN连接请求成功

```

PDN connectivity request
0000...=EPS bearer identity 0x00
...0010=Protocol discriminator: PES session management messages (0x02)
Procedure transaction identity: 0x02
ESM Message Type: PDN connectivity request(0xD0)
...
Access Point Name
Length of Access point Name Contents: 6 (Bytes)
Access point Name: 3gnet
.....
Access Point Name
Length: 42 (Bytes)
...0000=Spare: 0x00
...0000=Instance Value: 0x00
Access Point Name: aygajjzjgk.spjk.haapn.mnc001.mcc460.gprs
.....
.....
.....
Bearer Contexts List (num 0):
Length: 31 (Bytes)
...0000=Spare: 0x00
...0000=Instance Value: 0x00
EPS Bearer ID
Length: 1 (Bytes)
0000...=Spare: 0x00
...0000=Instance Value: 0x00
0000...=Spare: 0x00
...0101=EPS Bearer ID: 0x06
.....
    
```

图4 第2个PDN连接请求及纠错

判断此请求应该为上网卡设备自身发起的请求。紧接着在⑤信令里(见图4), MME向SGW发起的创建会话请求里, APN的属性变为了企业网APN, 说明MME已成功进行了APN纠错, 将3gnet改为了企业网APN, 并分配了新的Bearer ID为6。

在⑥⑦信令里, 可以看到第2个PDN连接请求成功, 在详细信令里携带的APN名称为企业网APN, Bearer ID为6, IP地址为10.33.39.128。

再来看一下PGW侧的信令, 如表4所示。

表4 正常号码PGW侧的信令

时间/s	源地址	目标地址	协议类型	消息类型
0.056	116.xx.207.228	116.xx.207.24	GTPv2	Create Session Request
0.064	10.255.231.195	10.68.31.250	RADIUS	Access-Request(1) (id=209, l=414)
0.072	10.68.31.250	10.255.231.195	RADIUS	Access-Accept(2) (id=209, l=75)
0.08	10.255.231.195	10.68.31.250	RADIUS	Accounting-Request(4) (id=66, l=441)
0.088	116.xx.207.24	116.xx.207.228	GTPv2	Create Session Response
0.088	10.68.31.250	10.255.231.195	RADIUS	Accounting-Response(5) (id=66, l=20)
10.92	116.xx.207.228	116.xx.207.29	GTPv2	Create Session Request
10.92	10.255.231.195	10.68.31.250	RADIUS	Access-Request(1) (id=11, l=414)
10.936	10.68.31.250	10.255.231.195	RADIUS	Access-Accept(2) (id=11, l=75)
10.944	10.255.231.195	10.68.31.250	RADIUS	Accounting-Request(4) (id=226, l=441)
10.952	116.xx.207.29	116.xx.207.228	GTPv2	Create Session Response
10.952	10.68.31.250	10.255.231.195	RADIUS	Accounting-Response(5) (id=226, l=20)

信令中RADIUS消息是PGW与移动VPDN平台之间的信令交互, 在业务的实现过程中, 当PGW接收到创建会话的请求后, 通过RADIUS消息向移动VPDN平台发起接入请求, 移动VPDN平台鉴权完成后会分配给用户地址。在交互过程中PGW先后建立了Bearer ID为5(红色框)和Bearer ID为6(蓝色框)的2个不同承载, 它们的APN名称相同, 均为aygajjzjgk.spjk.haapn, IP地址不同, 分别为10.33.39.101和10.33.39.128, 因此2个承载归属于不同的2个PDN连接。

综合MME和PGW的信令, 我们可以得出正常号码的连接过程: UE首先以用户输入的企业APN的发起连接请求, 请求成功后, UE又触发一个3gnet的PDN连接, 这个APN应该是上网卡设备硬件里自动拨号的, 由于签约里没有该APN, 被MME自动纠错; 虽然APN相同, 但IP地址不同, 所以2个PDN连接不同的, 2个PDN连接各有1个默认承载。

#### 2.2.4 故障号码信令分析

在整个过程中MME信令里呈现建立承载、删除承载、去附着、又附着、建立承载、删除承载的循环, 截取其中的一部分, 如表5所示。

表5 故障号码的MME信令

时间	协议类型	方向	消息类型
13:40:54.990	SM	接收	PDN connectivity request
13:40:54.990	GTP	发送	Create Session Request
13:40:55.020	GTP	接收	Delete Bearer Request
13:40:55.020	MM	发送	Detach request
13:40:55.020	SGS	发送	EPS Detach Indication
13:40:55.020	S1AP	发送	DOWNLINK NAS TRANSPORT
13:40:55.050	SGS	接收	EPS Detach Ack
13:40:55.070	S1AP	接收	UPLINK NAS TRANSPORT
13:40:55.070	MM	接收	Detach accept
13:40:55.070	S1AP	发送	UE CONTEXT RELEASE COMMAND
13:40:55.070	GTP	发送	Delete Bearer Response
13:40:55.080	S1AP	接收	UE CONTEXT RELEASE COMPLETE
13:40:55.340	MM	接收	Attach request
13:40:55.340	MM	发送	Identity request
13:40:55.330	S1AP	接收	INITIAL UE MESSAGE
13:40:55.330	S1AP	发送	DOWNLINK NAS TRANSPORT
13:40:55.390	S1AP	接收	UPLINK NAS TRANSPORT
13:40:55.390	MM	接收	Identity response
13:40:55.390	SM	接收	PDN connectivity request
13:40:55.390	GTP	发送	Create Session Request
13:40:55.450	GTP	接收	Create Session Response
13:40:55.450	SM	发送	Activate default EPS bearer context request
13:40:55.450	SGS	发送	Location Update Request
13:40:55.730	SGS	接收	Location Update Accept
13:40:55.730	MM	发送	Attach accept

红色框内的信令里MME针对终端请求的3gnet的PDN连接请求进行了纠错,将其变更为签约的第1个APN即aygajjzjgk.spjk.haapn;紧接着在蓝色框内的信令里,MME接收到PGW下发的删除Bearer ID为5的指示,随即发起去附着流程并指示UE重新附着。问题集中在以下2点。

a) 为什么PGW向MME下发了删除承载的请求。

b) 与正常号码的触发场景一样,为何故障号码在纠错APN建立的PDN连接后,要删除Bearer ID为5的首个PDN连接,随后触发去附着携带的原因值为“re-attach required”。

针对上述疑问,进一步对PGW侧信令进行分析,发现出现了与MME类似的信令循环,相比正常号码的PGW信令(参看表4),在红色框和蓝色框信令之间多了删除会话的过程,整个过程可以概括为3个方面。

a) 信令呈现建立会话,删除承载,再次建立会话,再次删除承载的循环,即创建Bearer ID为6的会话,就

删除Bearer ID为5的承载,然后再创建Bearer ID为5的会话,再删除Bearer ID为6的承载,依次循环下去。

b) MME侧接收到的删除承载的请求,是PGW侧下发的,经过SGW传递给MME。

c) 无论Bearer ID为5或6的PDN连接,其使用的APN名称和分配的地址(10.33.39.238)都是一样的。

### 2.2.5 故障定位

将故障号码的PGW和MME的信令结合,再对比正常号码的信令,基本可以确定导致失败的原因为PGW创建会话过程中连续出现2个相同PDN连接,从而引起业务触发失败,具体分析如下。

a) 故障号码和正常号码之间的差别在于地址分配的方式,正常号码采用动态方式,故障号码采用静态方式,故障号码连续2次PDN连接分配的都是同一个地址。根据“一个PDN连接=APN+IP”的原则,故障号码的2次PDN连接的APN名称和IP地址都相同,导致PGW认为出现的这2个PDN连接是冲突的,会保留刚新建的PDN连接,删除旧的PDN连接。

b) 本案例关键点在于UE发起的2个PDN连接请求。UE附着后发起第1个PDN连接请求是用户输入触发的,使用的是合法签约APN(aygajjzjgk.spjk.haapn);第2个PDN连接请求的APN(3gnet)是上网卡出厂固化设置好的,始终自动触发,恰巧UE并没有签约,经过MME纠错,加上静态分配地址方式对同一号码始终分配同一个地址,从而引起了PGW侧冲突。即便重新附着,删除了旧PDN连接,上网卡始终不停触发新的PDN连接,陷入了“删除→建立→再删除→再建立……”的重复循环模式。

c) 业务正常号码的上网卡并非没问题,只是采用了动态地址分配,规避了问题的发生,如果改为固定地址分配,仍然会出现无法使用业务的情况。

通过上述分析可以看出,采用动态分配地址方式或更换终端硬件可以避免故障产生。最终为满足静态分配的业务需求,选择更换有问题的终端。

## 3 移动VPDN业务维护建议

相对于公众手机终端,企业为了实现业务所采用的移动终端种类繁多,包括上网卡、无线插卡路由器、专用设备(如抄表终端)、车载设备等,终端出厂设置的多样性可能造成业务触发的混乱,本案例就是典型例子。有的企业虽然使用手机作为接入终端,但手机本身并没有修改APN的功能,需要安装专用的APP来

触发,如果专用 APP 的程序出现问题也会导致业务失败。结合日常移动 VPDN 故障处理的经验,本文给出以下几点移动 VPDN 业务维护建议供参考。

a) 移动 VPDN 企业用户的 APN 签约做到统一规范。不同批次或不同时期开的卡应做到签约信息一致,如同一种业务,有的卡签约只有企业 APN,有的卡签约既有企业 APN,又有公网 APN,有可能导致计费问题。一般情况,企业 APN 的费用是固定收费,并不涉及公网,假如用户不小心触发公网,可能会引起高额的费用,从而引起投诉。

b) 如果有多个 APN,尽量将企业 APN 作为第 1 个签约 APN。这样的设置的好处是,当触发的 APN 有误时,通过 MME 的纠错功能保证企业 APN 优先使用。

c) 企业采购的移动 VPDN 业务使用的特殊终端,在大批量使用前要测试确认能否正常触发业务。

d) 实时监控和定期统计移动 VPDN 的业务指标,如激活成功率、鉴权成功率、地址利用率等,做好业务质量变化的预判和跟踪。

e) 设置业务开通上线的确认环节,运用流程管控来确保各环节的数据制作准确及时,上线前通过模拟业务测试验证确保业务正常使用。根据现网经验,90% 以上的故障是外部原因造成,做好上线前的测试验证,有利于后期故障定位。在此基础上,对于移动 VPDN 的故障定位,依从先外后内的原则,先从终端、开卡、客户网络侧排查。

## 4 结束语

作为运营商为企业提供的接入方案,移动 VPDN 因其接入便捷快速被广泛采用,其业务的发展已成为运营商移动业务增长的重要组成部分。企业接入的多样性和复杂性,对运营商移动 VPDN 业务的运维提出了更高的要求,能否保障和支撑企业的移动 VPDN 业务,树立良好的客户感知口碑,成为企业选择运营商的重要衡量标准,作为网络的提供者,运营商需要业务前台与维护后台之间共同协作,形成有效的快速响应体系。

### 参考文献:

- [1] 张莉. 4G VPDN 流程及常见故障浅析[J]. 电脑知识与技术, 2017(36): 13-15.
- [2] 李鸣,李延坤. 黑龙江联通公司移动 VPDN 存在问题及解决建议[J]. 通信管理与技术, 2011(6): 20-21.

- [3] 赵其朋. 移动 VPDN 优化案例分析[J]. 电信技术, 2014(7): 105-107.
- [4] 黄粤,魏颖琪. 可管可控的移动 VPDN 方案研究[J]. 电信科学, 2013(4): 141-145.
- [5] 陈久雨,郑健,张玉良,等. 移动互联网 VPDN 技术应用的比较研究[J]. 移动通信, 2015(23): 13-17.
- [6] 毛小阳. 浅析移动 VPDN 技术及其应用[J]. 通信设计与应用, 2014(2): 7-9.
- [7] 王颖. 固网移动网 VPDN 共享 LNS 解决方案研究[J]. 信息技术, 2010(11): 188-189.
- [8] 刘红云. 移动 VPDN 技术实现及安全性分析[J]. 信息通信, 2014(7): 174-174.
- [9] 周玉婷,宫兆亮. 移动 VPDN 的原理及行业应用[J]. 中国信息化, 2012(22): 110.
- [10] 刘建锋,付兴华. 通过 VPDN 业务构建安全移动内网[J]. 数字技术与应用, 2012(5): 168-168.
- [11] 黄博. 联通 VPDN 移动办公用户认证与接入系统[J]. 无线互联网络科技, 2014(7): 52-52.
- [12] 洪茹,李承林,骆亮. VPDN 技术在领导决策辅助平台的应用[J]. 通信世界, 2016(6): 217-218.
- [13] 张明淑,王健. 电力抄表 VPDN 用户掉线故障分析与排除[J]. 山东通信技术, 2014(3): 45-47.
- [14] 郑一帆. 无线 VPDN 组网及故障案例分析[J]. 电子制作, 2014(17): 170-171.
- [15] 刘桂开. 虚拟专用网对移动用户的支持[J]. 新技术, 2002(2): 19-22.
- [16] 符倩海. VPDN 技术及其应用的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2013.
- [17] 王建民,嵇正鹏. 宽带 VPDN 技术及其在城域网中的应用研究[J]. 江苏通信, 2002, 18(2): 20-23.
- [18] 王艳艳. VPDN 技术实现及行业应用[J]. 黑龙江科技信息, 2010(30): 86-86.
- [19] 刘慧,陈龙. VPDN 技术分析及应用[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012(18): 16-18.
- [20] 刘少波,李江立. VPDN 技术的发展与应用研究[J]. 湖北第二师范学院学报, 2003, 20(2): 32-34.
- [21] 刘梦溪,于永伟,曹景镇. 某银行 VPDN 故障处理案例[J]. 信息技术与信息化, 2018(1): 154-157.
- [22] 张莉. 4G VPDN 流程及常见故障浅析[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(36): 13-15.
- [23] 王小剑,张琳. VPDN 业务在 LTE 网络中的实现方式研究[J]. 互联网天地, 2014, (5): 78-83.

### 作者简介:

郭威,毕业于解放军信息工程大学,高级工程师,硕士,主要从事移动分组网维护工作;张科锋,毕业于西安邮电学院,工程师,学士,主要从事移动分组网维护工作;李红振,毕业于东北林业大学,工程师,学士,主要从事移动无线网维护工作;刘彦君,毕业于解放军信息工程大学,工程师,学士,主要从事移动分组网维护工作。