



面向分层解耦的虚拟节点可靠性设计

李阳春, 樊勇兵, 陈楠, 陈天

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 首先把随机事件的概念引入通信过程, 介绍了串并联的可靠性算法; 其次, 分析了虚拟主机、集群、spine-leaf 交换网的可靠性设计及其计算方法; 最后, 基于各组成单元的连接关系, 提出了虚拟节点的可靠性设计方案及其可靠性算法。

关键词: 可靠性指标; 可靠性设计; 虚拟节点

中图分类号: TN915.02

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018206

Design of reliability for layered decoupled virtual nodes

LI Yangchun, FAN Yongbing, CHEN Nan, CHEN Tian

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: Firstly, the concept of random events was introduced into the communication process, and the serial and parallel reliability algorithms were introduced. Secondly, the reliability design of virtual hosts, clusters and spine-leaf switching networks and their calculation methods were analyzed. Finally, the connection based on each component unit was analyzed. Based on the connection relationships among the components, the reliability design scheme of virtual nodes and its reliability algorithm was proposed.

Key words: reliability index, reliability design, virtualized node

1 引言

参考文献[1]在 1955 年提出传统网络的可靠性概念, 其评估模型基于图论和设备的物理故障。参考文献[2]从可靠性工程的角度系统梳理了网络可靠性概念、内涵, 并综述了相关的评估算法。参考文献[3]针对计算机网络, 认为计算机网络应实现全冗余、无任何单点故障, 区分设备层和网络层的可靠性。设备层可靠性由交换机和路由器等设备的可靠性决定, 通过增加冗余资源 (如设

备冗余或功能模块冗余), 避免故障造成的影响。网络层通过链路冗余、虚拟路由冗余协议 (如 VRRP 等) 保证核心应用的快速切换。与传统网络不同, 网络功能虚拟化 (NFV) 要求由服务器运行虚拟网元, 而服务器及软件通常只能实现 3 个 9 的可靠性, 难以满足 5 个 9 的运营级可靠性要求。

在参考文献[4-5]中, ETSI 提出了软硬分离的 NFV 概念和架构。参考文献[6]定性分析了 NFV 分层实现的可靠性, 并提出了设计建议, 本文遵

收稿日期: 2017-12-05; 修回日期: 2018-06-28

循 ETSI NFV 架构, 对 NFV 分层实现、虚拟节点网络的可靠性进行整体考虑, 探讨了分层解耦的虚拟节点的运营级可靠性设计及其量化建议。其中, 虚拟化节点指由运行虚拟化软件的主机集群、叶 (leaf) 交换机、脊 (spine) 交换机组成的具备承载能力的网络节点, 总体上应实现 5 个 9 的运营级可靠性。

2 可靠性设计的分析方法

传统网络可靠性基于网络的物理拓扑, 用框图描述网络组成单元之间的逻辑关系, 在各单元可靠性参数已经确定的条件下, 通过计算可以得到网络的整体可靠性。

(1) 可靠性参数计算方法

业界对可靠性虽然有不同定义, 但通常可采用如下算法计算系统的可靠性:

$$P = \text{Availability} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \times 100\% \quad (1)$$

其中, MTBF 是指一个系统无故障运行的平均时间。MTTR 是指一个系统从故障发生到恢复所需的平均时间。指标 P 包含如下两层含义: 系统无故障运行的平均时间占全部时间的比例; 当把系统发生故障看成随机事件时, 指标 P 描述了系统无故障运行事件发生的概率。

(2) 网络可靠性的计算方法

传统网络的网元之间按照连接关系可以抽象成串联、并联等关系, 并按照不同方法计算网络的可靠性。

(a) 串联网络: 如图 1 所示, 网元按照前后顺序组成串联网络。

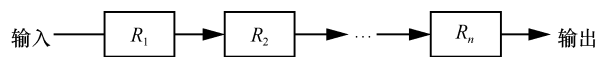


图 1 串联网络模型

其中, $R_i, i=1, \dots, n$ 表示网络的各网元。在这种场景中, 网元按照排列顺序, 逐跳完成对通信报文的处理。任一跳网元发生故障时, 串联网络无法

继续通信, 其可靠性按照式 (3) 计算:

$$P = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n \quad (2)$$

其中 $P_i, i=1, \dots, n$ 表示网元 $R_i, i=1, \dots, n$ 的可靠性指标, P 表示网络的可靠性或者无故障运行概率。当各网元的可靠性指标相同时, 串联网络的可靠性按照如下计算式计算:

$$P = p^n \quad (3)$$

(b) 并联网络: 如图 2 所示, 网元 $R_i, i=1, \dots, n$ 按照并联方式组成网络。

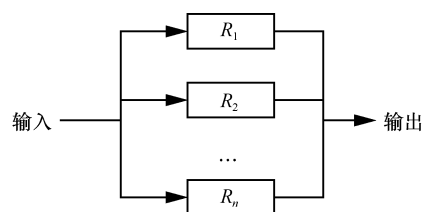


图 2 并联网络模型

在并联网络中, 通信报文选择任意网元完成通信。并联网络的可靠性按照如下算法计算:

$$P = 1 - [(1 - P_1) \times (1 - P_2) \times \dots \times (1 - P_n)] \quad (4)$$

其中, $P_i, i=1, \dots, n$ 和 P 的含义类似串联网络。当各网元的可靠性指标 P_i 相同, 并联网络的可靠性 P 计算式变成:

$$P = 1 - (1 - p)^n \quad (5)$$

本文后续部分不再区分同类网元的个体差异, 采用式 (3) 和式 (5) 分别估算串联网络、并联网络的可靠性。

(3) 可靠性特征分析示例

当单节点可靠性 p 分别等于 99%、99.9%、99.99% 时, 用 1~10 个节点组成串联网络、并联网络, 网络可靠性分别见表 1 和表 2。

表 1 串联网络可靠性

节点数	99%	99.90%	99.99%
1	99.000 0%	99.900 0%	99.990 0%
2	98.010 0%	99.800 1%	99.980 0%
3	97.029 9%	99.700 3%	99.940 0%
...	...	...	...
10	90.438 2%	99.004 5%	0



表 2 并联网路可靠性

节点数	99%	99.90%	99.99%
1	99.000 0%	99.900 0%	99.990 0%
2	99.990 0%	99.999 9%	100.000 0%
3	99.999 9%	100.000 0%	100.000 0%
...	...	...	...
10	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%

表 1 反映了串联网络的可靠性特征，表 2 反映了并联网络的可靠性特征。

特征 1 串联网络的可靠性随网元数量增加而降低，并联网络的可靠性随网元数量增加而提升；提升网元可靠性可以提升网络可靠性。

特征 2 除非单节点的可靠性达到 5 个 9，串联网络无法达到 5 个 9 的可靠性。

特征 3 低可靠性网元可以通过并联组网实现高可靠性网络。

如 2 个或 3 个低可靠性网元（如 2 个 9），可以并联实现 4 个 9 的网络可靠性或 6 个 9 的网络可靠性；2 个低可靠性网元（如 3 个 9）并联可以实现 6 个 9 的网络可靠性。

3 可靠性设计需求

3.1 虚拟节点描述

在本文中，虚拟节点由 spine-leaf 交换网、主机集群（或主机）及其互联链路组成，其结构如图 3（a）所示。

其中，spine-leaf 交换网由 spine 交换机、leaf

交换机互联组成。主机集群由运行相同功能软件的主机组成。每台主机通过双链路上联 leaf 交换机，每台 leaf 交换机与各 spine 交换机单链路互联。同一集群的主机可以集中接入一对 leaf 交换机。不同集群、leaf/spine 交换机可以成对或单独部署在不同机房。

在本文中，各主机通常采用通用服务器，运行如图 3（b）所示的虚拟层软件，部署虚拟机（virtual machine, VM）、承载虚拟网元（virtual network function, VNF）或业务软件。

3.2 流量特征

当用于承载 VM/VNF 或业务流量，虚拟节点流量分成南北流量和东西流量，并具有不同的可靠性特点。虚拟节点的流量特征如图 4 所示。

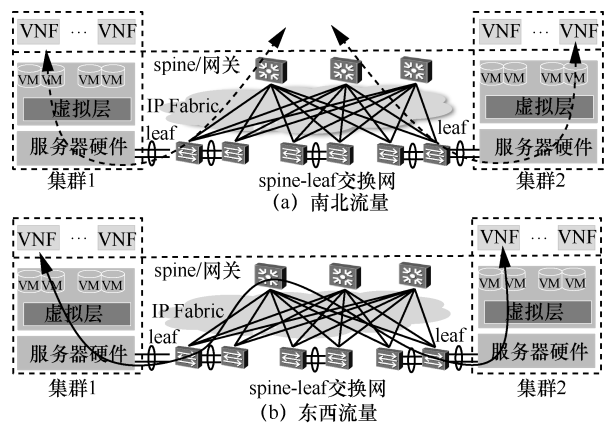


图 4 虚拟节点流量特征

(1) 南北流量

虚拟节点的南北流量实现虚拟节点与外部节点互通，包括提供对外服务或承载网络流量。在

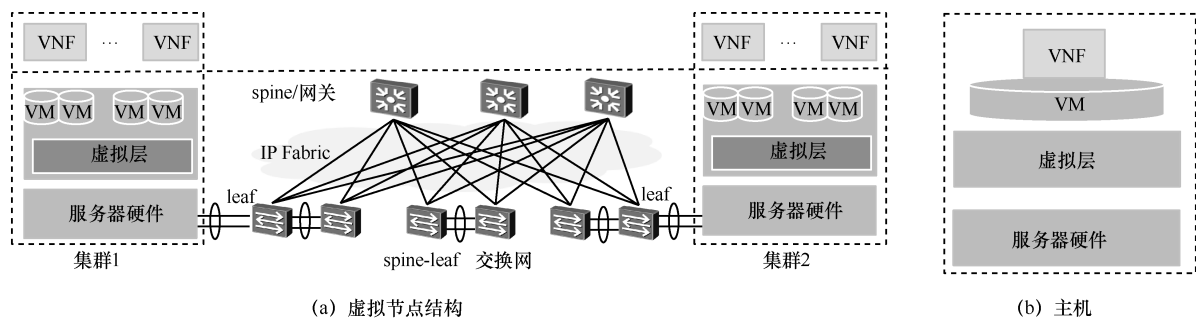


图 3 虚拟节点结构及主机

这种场景中,集群服务器经 spine 交换机与外部节点互通。通信报文的访问路径如图 4(a)所示。访问报文在虚拟节点内经过 spine 交换机及其单侧的 leaf 交换机、集群,经过如下的串联路径: spine-leaf 网络 ↔ 集群 (物理主机 ↔ 虚拟层 ↔ VM/VNF)。

(2) 东西流量

在虚拟节点内部,集群服务器经过 spine-leaf 网络的互通流量成为虚拟节点的东西流量。在这种场景中,通信报文的访问路径如图 4(b)所示。通信报文在虚拟节点内经 spine-leaf 网络、集群,形成如下路径: 集群 1 (VM/VNF ↔ 虚拟层 ↔ 物理主机) ↔ spine-leaf 互联 ↔ 集群 2 (物理主机 ↔ 虚拟层 ↔ VM/VNF)。

在集群内,访问报文由 VM/VNF 或业务软件转发或生成,经过虚拟层和服务器物理层,完成服务器内的处理。无论南北流量和东西流量,访问报文的每一跳都完成正常的处理后,虚拟节点才可正常通信。

3.3 可靠性设计需求

如图 3、图 4 的虚拟节点及其流量特征,虚拟节点的可靠性指业务报文在虚拟节点内完成东西转发及南北转发的端到端可靠性,由业务报文所经过路径的各组成单元的可靠性共同决定。

(1) 可靠性要求

在虚拟节点组网的场景中,虚拟节点的可靠性由主机(包括 VM/VNF 及业务软件、虚拟化层、服务器硬件实现)、主机集群、spine-leaf 交换网的可靠性共同决定,具体要求如下。

- 主机可靠性:由服务器硬件、虚拟层软件、虚拟机/虚拟网元或业务软件可靠性决定,相互之间按照串联实现服务器总体可靠性。为了简单,本文参考传统 IT 类应用的总体可靠性,服务器硬件、虚拟化软件、VM/VNF 或业务软件的可靠性都按照

99.9%估算。

- 主机集群可靠性:集群服务器运行相同软件,相互之间实现负载分担,即组成并联网络结构,实现主机集群的总体可靠性。
- spine-leaf 交换网的可靠性:通过交换机堆叠、链路聚合等技术实现 spine-leaf 交换网的可靠性。

(2) 可靠性设计方法

在传统运营商网络中,网络设备通常要求提供 5 个 9 的业务可靠性。对于采用虚拟节点组网的场景,虚拟节点由服务器硬件、虚拟层及应用层软件等 IT 设备及软件实现,总体上要求实现 5 个 9 的业务可靠性。

通常采用可靠性只有 3 个 9 的 IT 设备及软件,虚拟节点通过设计合适的部署方案,最终实现 5 个 9 的业务可靠性。其方法包括以下几种。

- 资源冗余:通过部署冗余资源,包括由多个虚拟机、多台主机、多条链路或路径实现负载分担或主备份。
- 分布式部署:分布式部署服务器、虚拟机,降低多台物理主机或虚拟机同时发生故障的概率。跨机架、跨机房连接主机、leaf/spine 交换机,分散链路发生故障时的风险。
- 快速恢复:在发生故障时采用软件重启、VM/VNF 迁移等方式,包括快速检测、自动切换,避免影响正常通信。

本文针对实际部署场景,重点采用资源冗余及分布式部署的可靠性设计方法。快速恢复机制用于发生故障后转移流量,配合本文的设计方案,共同保证正常通信。

(3) 假设条件

为了方便计算,除非特别说明,本文假设 VM/VNF、虚拟层软件、服务器硬件、leaf 交换机、spine 交换机、互联链路的可靠性都为 99.9%,即单设备和软件都具有 3 个 9 的可靠性。



4 虚拟化节点可靠性设计方案

本节关注实际部署中的虚拟节点的可靠性指标，探讨主机、集群、spine-leaf 以及虚拟节点的可靠性设计方案。

4.1 主机可靠性设计

如图 3 (b) 所示，主机分成设备层、虚拟层、VM/VNF 层，只有三层同时正常运行，主机及其承载的应用或虚拟网元才能正常工作。假设用 P_h 、 P_v 、 P_e 、 P_s 分别表示设备层、虚拟层、VM/VNF 层的可靠性和主机的总体可靠性，则这些可靠性指标之间的关系如下：

$$P_s = P_h \times P_v \times P_e \quad (6)$$

为了简化计算，主机的硬件层、虚拟层、VM/VNF 层的可靠性在后文取相同值。因此，根据式 (6) 的计算，主机的可靠性 P_s 见表 3。

根据表 3 结算结果，可以得到如下结论。

结论 1：主机的可靠性随单层可靠性的提升而提升，即提升服务器硬件及虚拟层和 VM/VNF 软件的可靠性，可以提升主机的可靠性。

当单层可靠性为 3 个 9 时，主机的可靠性 P_s 仅有 99.7%；当单层可靠性达到 4 个 9 时，总体可靠性 P_s 达到 99.97%，达到 3 个 9。为了实现总体可靠性 P_s 达到电信级可靠性，即 5 个 9 的水平，单层的可靠性需要达到 6 个 9。

本文后续部分按照主机可靠性 $P_s=99.7\%$ 计算和设计集群可靠性、虚拟节点的可靠性。

4.2 集群及接入 leaf 链路的可靠性设计

集群由运行相同功能、实现负载分担的主机

$S_i, i=1, \dots, n$ 并联组成。每台主机经双链路上联 leaf 交换机 SW_1 和 SW_2 。各上联链路用 $L_{(2i-1)}$ 和 $L_{(2i)}$ ， $i=1, \dots, n$ 表示。集群的可靠性设计方案如图 5 所示，其中 Eth-Trunk 表示主机上联链路开启 Trunk 功能。

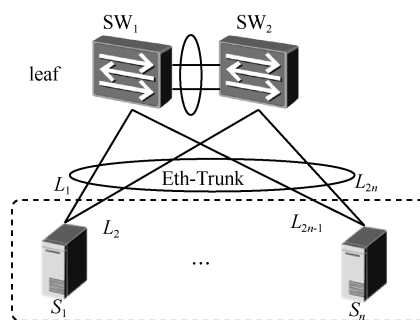


图 5 主机集群及其接入场景

如图 5 所示，每台主机及其上联链路形成串并联网络关系。每台主机、每条上联链路的可靠性分别用 P_s 、 P_L 表示，则单台主机及其上联链路的可靠性计算方法为 $P_s \times [1 - (1 - P_L)^2]$ 。根据主机及其上联链路的串联关系， n 台主机及其上联链路组成并联网络，则由 n 台主机及其上联链路所组成集群的可靠性 P_c 计算方法如下：

$$P_c = 1 - \{1 - P_s \times [1 - (1 - P_L)^2]\}^n \quad (7)$$

为了便于估算，参考主机节点可靠性参数 $P_s=99.7\%$ 及第 3.3 节的假设条件。其中， n 表示集群中服务器数量。集群服务器接入 spine-leaf 的总体可靠性与 n 的关系见表 4。

根据表 4 的计算结果，集群主机采用双链路上联的可靠性 P_c 具有如下结论。

结论 2：在处理能力足够的条件下，集群采用

表 3 主机可靠性 P_s

单层可靠性	90.000 00%	99.000 00%	99.900 00%	99.990 00%	99.999 00%	99.999 900%
可靠性 P_s	72.900 00%	97.029 90%	99.700 30%	99.970 00%	99.997 00%	99.999 700%

表 4 集群及接入链路的可靠性指标

服务器数量 n	1	2	3	4	5	6	7	8
可靠性 P_c	99.699 9%	99.999 1%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%

双主机并联，每台主机通过双链路上联两台 leaf 交换机，集群可以实现 5 个 9 的可靠性，而且集群的可靠性随着主机数量的增加而提升。

4.3 spine-leaf 交换网的可靠性设计

spine-leaf 交换网承载虚拟节点的南北流量和东西流量，业务流量的访问路径如图 6 所示。

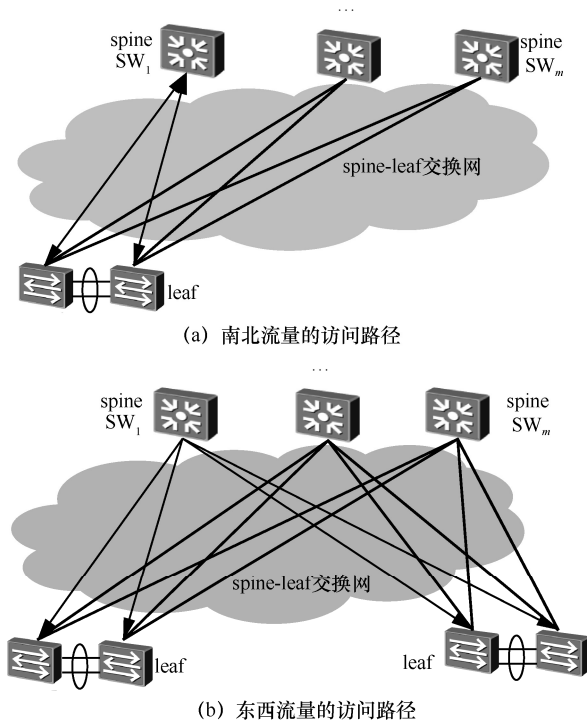


图 6 业务流量在 spine-leaf 交换网络中的访问路径

如图 6 所示，spine-leaf 网络由 spine 交换机 SW_i ($i=1, \dots, m$)、多对 leaf 交换机组成。每对 leaf 交换机堆叠成 1 台交换机，并接入一个主机集群。每台 leaf 交换机分别与 spine 交换机单链路连接。当用于承载南北流量时，spine 交换机与其一侧的 leaf 交换机组成外部节点与服务器之间的通信路径，如图 6 (a) 所示；当用于承载东西流量时，

spine 交换机一侧的 leaf 交换机、spine 交换机以及另一侧的 leaf 交换机组成通信路径，如图 6 (b) 所示。

下文用 P_{s-n} 、 P_{e-w} 分别表示承载南北流量、东西流量的 spine-leaf 可靠性指标，用 P_{leaf} 、 P_{spine} 表示单台 leaf 交换机、单台 spine 交换机的可靠性，用 P_L 表示单条链路的可靠性。下面分别估算两种场景的 spine-leaf 可靠性指标，在计算中忽略同类 leaf 交换机、spine 交换机及链路的个体差异。

(1) 南北流量场景

每台 spine 交换机通过两条链路与每对 leaf 交换机连接。多台 spine 交换机 SW_i 形成多条平行路径，实现流量的负载分担，交换机之间是并联组网关系，与连接链路、leaf 交换机形成串联关系。因此，承载南北流量的 spine-leaf 的可靠性指标 P_{s-n} 计算步骤如下：

步骤 1 每对并联 leaf 交换机的可靠性为 $1-(1-P_{leaf})^2$ ；

步骤 2 单台 spine 交换机与两条并联链路连接，其可靠性为 $P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]$ ；

步骤 3 m 台 spine 交换机及其连接链路形成并联关系，其可靠性为： $1-\{1-P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]\}^m$ ；

步骤 4 m 台 spine 交换机与 1 对 leaf 交换机串联，其可靠性指标 P_{s-n} 为：

$$P_{s-n} = [1-(1-P_{leaf})^2] \times \{1-\{1-P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]\}^m\} \quad (8)$$

根据式 (8) 和第 3.3 节的假设，承载南北流量的 spine-leaf 交换网的可靠性 P_{s-n} 与 m 之间的关系见表 5。

表 5 承载南北流量的 spine-leaf 的可靠性指标

spine 数量 m	1	2	3	4	5	6	7	8
可靠性 $P_{s-n} (P_{spine}=99.9\%)$	99.899 80%	99.999 80%	99.999 90%	99.999 90%	99.999 90%	99.999 90%	99.999 90%	99.999 90%
可靠性 $P_{s-n} (P_{spine}=99.999\%)$	99.999 00%	100.000 00%	100.000 00%	100.000 00%	100.000 00%	100.000 00%	100.000 00%	100.000 00%



表6 承载东西流量的 spine-leaf 的可靠性指标

spine 数量 m	1	2	3	4	5	6	7	8
可靠性 P_{e-w} ($P_{spine}=99.9\%$)	99.899 6%	99.999 7%	99.999 8%	99.999 8%	99.999 8%	99.999 8%	99.999 8%	99.999 8%
可靠性 P_{e-w} ($P_{spine}=99.999\%$)	99.999 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%	100.000 0%

表5根据式(8)分别计算了连接链路、spine交换机、leaf交换机的可靠性 $P_L=P_{leaf}=P_{spine}=99.9\%$ 、 99.999% ，即3个9和5个9两种情况的 spine-leaf 交换网的可靠性指标 P_{s-n} 。计算结果表明：

- 当连接链路、spine交换机、leaf交换机的可靠性为99.9%时，两台以上spine交换机的可靠性指标 P_{s-n} 达到5个9，并随spine交换机数量增加而提升；
- 当连接链路、spine交换机、leaf交换机的可靠性为99.999%时，可靠性指标 P_{s-n} 总能达到5个9，并随spine交换机数量的增加而增加。

根据上述计算结果，spine-leaf的可靠性设计具有如下结论。

结论3：当spine-leaf交换网用于承载南北流量，采用两台leaf交换机接入集群，与两台以上spine交换机连接，在转发能力足够时，可以实现5个9以上的可靠性。

(2) 东西流量场景

承载东西流量的spine交换机、leaf交换机、集群的连接关系与承载南北流量相同，但需要考虑spine交换机同时与两侧接入不同集群的两对leaf交换机连接。因此，承载东西流量的spine-leaf总体可靠性指标 P_{e-w} 计算步骤如下：

步骤1 每对并联leaf交换机的可靠性为 $1-(1-P_{leaf})^2$ ；

步骤2 单台spine交换机同时与两侧的两对并联链路连接，其可靠性为 $P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]^2$ ；

步骤3 m 台spine交换机及其连接链路形成

并联关系，其可靠性为 $1-\{1-P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]^2\}^m$ ；

步骤4 m 台spine与两对leaf交换机串联，其东西向可靠性为：

$$P_{e-w} = [1-(1-P_{leaf})^2]^2 \times \{1-\{1-P_{spine} \times [1-(1-P_L)^2]^2\}^m\} \quad (9)$$

承载东西流量的spine-leaf的可靠性指标 P_{e-w} 与 m 之间的关系见表6。

类似承载南北流量的场景，表6根据式(9)计算了互联链路、单台交换机、链路可靠性分别为3个9和5个9的spine-leaf网络的可靠性指标 P_{e-w} 。计算结果表明：

- 当连接链路、spine交换机、leaf交换机的可靠性为99.9%时，两台以上spine交换机的可靠性指标 P_{e-w} 达到5个9，并随spine交换机数量增加而提升；
- 当连接链路、spine交换机、leaf交换机的可靠性为99.999%时，可靠性指标 P_{e-w} 总能达到5个9，并随spine交换机数量增加而增加。

根据上述计算结果，spine-leaf的可靠性设计具有如下结论。

结论4：当spine-leaf网络用于承载东西流量，采用两对leaf交换机接入集群1、集群2，与两台以上spine交换机连接，当转发能力足够时，spine-leaf网络可以实现5个9以上的可靠性 P_{e-w} 。

可以看到，spine-leaf承载东西流量比承载南北流量需要占用的资源更多，可靠性指标 P_{e-w} 略小于 P_{s-n} ，但 P_{s-n} 和 P_{e-w} 相差极小，并具有相同的可靠性设计结论。因此，下文不再区分承载两种类型流量的spine-leaf可靠性，统一按照

承载东西流量的算法进行设计,即按照式(9)设计。

4.4 虚拟节点的可靠性设计

本文虚拟节点的可靠性用 P_n 表示。根据图2、图5的虚拟节点架构和式(9),可靠性指标 P_n 由多个集群、spine-leaf交换网的可靠性计算得到,并按照如下方法计算:

$$P_n = P_{c1} \times P_{e-w} \times P_{c2} = \{1 - \{1 - P_S \times [1 - (1 - P_L)^2]\}^n\}^2 \times [1 - (1 - P_{leaf})^2]^2 \times \{1 - \{1 - P_{spine} \times [1 - (1 - P_L)^2]\}^m\} \quad (10)$$

其中, P_{c1} 和 P_{c2} 分别表示集群及其上联链路的总体可靠性。式(10)表示虚拟节点内从主机集群经过 spine-leaf 交换网到主机集群的东西向通信的虚拟节点可靠性。

虚拟节点的可靠性指标 P_n 见表7。

表7是式(10)的计算结果。其中,服务器数量 $n=1, 2$ 时,虚拟节点的可靠性指标 P_n 都低于5个9,达不到运营级可靠性。从表7可以得出如下结论。

结论5: 集群主机数低于两台,承载东西流量的虚拟节点的可靠性指标 P_n 无法达到5个9的可靠性;当集群主机数达到或超过3台,虚拟节点的可靠性指标 P_n 总能达到5个9的可靠性。

结论6: 虚拟节点按照下述方案可以实现5个9以上的节点可靠性 P_n 。

- 集群采用3台以上服务器、每台服务器采用双链路接入1对 leaf 交换机; spine-leaf 交换网采用两台以上 spine 交换机与每台 leaf 交换机单链路互联。
- VM/VNF/虚拟层软件、服务器硬件、链路、spine/leaf 交换机的可靠性分别达到3个9。

结论6只是基于集群的处理能力、交换机的转发能力和链路的容量足够时实现5个9的可靠性。当处理能力、转发能力、容量不足时,通过横向扩容,即增加并联设备和链路,可以进一步提升虚拟节点的可靠性。

5 结束语

本文所探讨的虚拟节点由 spine-leaf 交换网、集群服务器、虚拟层、VM/VNF 等组成,符合 ETSI NFV 架构。本文首先描述探讨了串联、并联两种组网方式的可靠性计算方法,根据虚拟节点各组成单元之间的串/并联连接关系,基于 VM/VNF/虚拟层软件、服务器硬件、spine/leaf 交换机的个体可靠性,探讨了主机、集群、spine/leaf 交换机、虚拟节点承载东西向/南北向流量的可靠性计算

表7 虚拟节点的可靠性指标 P_n

spine 数	节点可靠性 P_n	服务器数量 n							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2	$P_n(P_{spine}=99.9\%)$	99.40040%	99.99790%	99.999 69%	99.999 70%	...	...	...	99.999 70%
	$P_n(P_{spine}=99.999\%)$	99.40070%	99.99820%	99.999 99%	100.000 00%	...	...	...	100.000 00%
3	$P_n(P_{spine}=99.9\%)$	99.40050%	99.99800%	99.999 79%	99.999 80%	...	...	...	99.999 80%
	$P_n(P_{spine}=99.999\%)$	99.40070%	99.998 20%	99.999 99%	100.000 00%	...	...	...	100.000 00%
4	$P_n(P_{spine}=99.9\%)$	99.40050%	99.998 00%	99.999 79%	99.999 80%	...	...	...	99.999 80%
	$P_n(P_{spine}=99.999\%)$	99.400 70%	99.998 20%	99.999 99%	100.000 00%	...	...	...	100.000 00%
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	$P_n(P_{spine}=99.9\%)$	99.400 50%	99.998 00%	99.999 79%	99.999 80%	...	...	...	99.999 80%
	$P_n(P_{spine}=99.999\%)$	99.400 70%	99.998 20%	99.999 99%	100.000 00%	...	...	...	100.000 00%



方法,实现运营级可靠性的设计方法,并最终提供 5 个 9 的运营级可靠性。

除了可靠性需求,本文忽略了部分在实际部署中需要综合考虑的因素,包括虚拟节点组成单元的容量和处理能力、部署的物理位置(如跨机房部署集群等)、虚拟节点的出口可靠性、分层解耦后各层对虚拟节点可靠性的影响等。这些问题将纳入后续的研究,并在实际部署中逐步验证和完善。

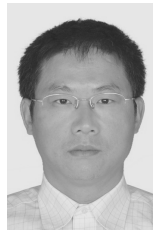
参考文献:

- [1] LEE C Y. Analysis of switching networks[J]. Bell Labs Technical Journal, 1955, 34(6): 1287-1315.
- [2] 黄宁, 伍志韬. 网络可靠性评估模型与算法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(12): 2651-2660.
HUANG N, WU Z T. Survey of network reliability evaluation models and algorithms[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(12): 2651-2660.
- [3] 刘永生. 网络可靠性探讨与应用实例[J]. 电信技术, 2006(2): 52-55.
LIU Y S. Discussion on network reliability and its application[J]. Telecommunications Technology, 2006(2): 52-55.
- [4] ETSI. Network functions virtualization[R]. 2012.
- [5] ETSI. Network functions virtualisation(NFV)_architectural framework: GS NFV002v1.1.1[S]. 2013.
- [6] 杨旭, 肖子玉, 邵永平, 等. NFV 可靠性探讨[J]. 电信科学, 2017, 22(7): 136-143.
YANG X, XIAO Z Y, SHAO Y P, et al. Discussion on the reliability of NFV[J]. Telecommunications Science, 2017, 22(7): 136-143.

[作者简介]



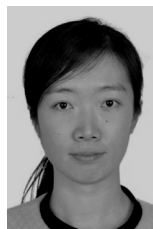
李阳春 (1970—), 男, 博士, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 长期从事数据网络、下一代互联网、云计算等领域的技术研究工作, 目前重点关注云网协同、NFVI 等相关技术。



樊勇兵 (1970—), 男, 博士, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 中国通信学会高级会员, 中国电信 IP 人才, 全球云网 OpenCircus 中国电信节点负责人, 中国电信重点实验室——数据多媒体实验室负责人, 中国电信数据网支撑中心主要成员, 长期从事互联网研究工作, 目前负责中国电信云计算、IDC 等方面的工作。



陈楠 (1981—), 男, 博士, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为互联网、云计算、IDC。



陈天 (1980—), 女, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为云计算、SDN/NFV。