

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802008

# 基于网络资源分配模型的有状态功能 处理加速架构分析\*

苏超<sup>1</sup> 胡金磊<sup>1</sup> 贾冰慧<sup>2</sup> 黄贞云<sup>2</sup>

(1.广东电网有限责任公司清远供电局 清远 511500; 2.广东珺桦能源科技有限公司 广州 510535)

**摘要:** 本文提出了一种基于可编程硬件的有状态加速架构,此架构的加速平台是通过可编程硬件构建得到,实现对数据平面的状态管理,以此实现把有状态 VNF 数据传输至独立硬件加速器之后再对其统一处理。通过性能分析得到,当对更多的 VNF 并行处理时,有助于提高 SFPA 架构的吞吐量。对 4 个 VNF 进行并行加速时,将使硬件加速平台发生满负荷运行。使用资源分配优化算法之后,在 SFPA 中的 SliCE 资源消耗总量发生了降低的现象,对于不同数量的 VNF,采用此算法得到的优化率也存在明显的差异,对两个 VNF 实施并行加速时,可以获得最高优化率等于 42%。

**关键词:** 网络功能虚拟化;可编程硬件;硬件加速;资源分配优化

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 41320

## Analysis on the accelerated architecture of stateful functional processing based on network resource allocation model

Su Chao<sup>1</sup> Hu Jinlei<sup>1</sup> Jia Binghui<sup>2</sup> Huang Zhenyun<sup>2</sup>

(1.Qingyuan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Qingyuan 511500, China;

2.Guangdong Jun &amp; Hua Energy Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** this paper proposes a state acceleration architecture based on programmable hardware, which is built on programmable hardware to realize state management of data plane, so as to realize unified processing of state VNF data transmitted to independent hardware accelerators. Performance analysis results: when more VNF is processed in parallel, it helps to improve the throughput of the SFPA architecture. When four VNF are accelerated in parallel, the hardware acceleration platform will run at full load. After using the resource allocation optimization algorithm, the total amount of SliCE resource consumption in SFPA is reduced. For different VNF, the optimization rate obtained by using this algorithm is also significantly different. When two VNF are accelerated in parallel, the maximum optimization rate obtained is equal to 42%.

**Keywords:** network function virtualization; programmable hardware; hardware acceleration; resource allocation optimization

## 0 引言

随着各类互联网应用技术的快速发展,用户需求也显著增加,并表现出更加复杂的变化趋势。考虑到传统网络都需要专门的硬件进行支持,因此为了改善网络服务质量,就必须为其更新这类设备以获得更加完善的网络功能<sup>[1-3]</sup>。当这些网络设备的数量不断增加后,系统功耗也会明显上升,导致运营商需要承担更高的网络建设及维护成本。针对以上各项缺陷,有学者开发了网络功能虚拟化(network

function virtualization, NFV)架构,其核心理念是对硬件与软件系统进行全面耦合,并构建得到以标准硬件作为基础的通用平台,从而可以更加方便地分配与使用不同的硬件资源,使网络运营商只需投入更低的运行与维护成本便可实现系统正常功能,这使得无论是配置原先网络业务还是开发新的网络业务都变得更加容易<sup>[4-8]</sup>。NFV 架构是利用 VNF 来实现特定的业务功能。相对于传统形式的网络功能,VNF 在处理数据方面的速率降低了 30%~40%<sup>[9-12]</sup>,对 NFV 的进一步发展造成了较大的制约,所以必须采取

收稿日期:2018-11-09

\* 基金项目:“基于无人机多源图像特征匹配的输电设备缺陷预警系统的研发”(031800KK52160007)项目资助

VNF 数据包处理方式加快处理速度。并且这类需要加速的 VNF 基本都属于状态功能。现阶段,许多硬件加速器基本都没有状态功能,因此无法在加速有状态功能方面获得良好的效果,这就要求针对有状态 VNF 专门构建一种高效的硬件加速架构<sup>[13-15]</sup>。

本文主要研究了利用有状态功能处理加速架构(architecture of stateful functional processing, SFPA)来改善数据包处理效率的过程。此架构的加速平台是通过可编程硬件构建得到,实现对数据平面的状态管理,以此实现把有状态 VNF 数据传输至独立硬件加速器之后再对其统一处理,达到加速有状态网络功能硬件的效果;同时,本文还引入资源分配优化算法,极大减少了加速资源的消耗。

### 1 SFPA 基本架构

#### 1.1 整体架构

SFPA 的整体架构如图 1 所示,该架构的组成结构包括一个有状态处理单元(state processing units, SPU)与可编程解析器。在获取状态信息的过程中,SFPA 使用可编程解析器从数据包特定匹配域提取所需信息,同时得到数据包状态,之后再辨别协议的具体类型;之后利用解析器把数据包传输至 SPU,再通过状态选择器与匹配表的协作过程来实现处理有状态数据包以及对其进行匹配查询的过程;生成匹配结果以后,数据包将被传输至动作执行器,再按照设定指令操作这些数据包。对于 NFV 环境来说,必须确保网络体系能够灵活运行。基于以上要求,SFPA 可以为用户提供非常灵活的配置方式,可以根据不同用户的需求对特定功能进行定制。与传统“匹配-动作”单元比较后可以发现,SPU 可以提供状态转移信息表(state transfer information table, STiT)以及状态选择器,是利用解析器提取得到包头域与状态信息后再处理数据包,同时完成状态操作,之后再吧结果传输至匹配表后对其进行后续处理。动作执行器主要负责处理数据包的内容,主要通过解析器提供的共享包头信息来定位匹配域,同时发送指令来处理数据包内容。另一方面,对于 SFPA 加速架构而言,部分硬件加速器将会把不能完成或不合适的任务传输至 VNF,利用 CPU 处理相关数据,以此减少软件和硬件间的数据流量,使整体处理速率得到明显改善,并且还可以减少额外的资源消耗,进一步促进加速资源利用率的提高。

#### 1.2 有状态解析

图 2 所示显示了 SFPA 通过可编程解析器对有状态参数进行解析的过程。其中,包头解析器的各组成模块为状态信息提取模块、类型域分辨模块、缓存模块以及匹配域提取模块。数据包在加速器内是利用总线完成传输过程,为获得更高的传输效率,可以把不同的数据包共同组合为具有和总线带宽一致的数据块。当数据块被传输到解析器中之后,RAM1 将发生初始化,使类型域提取模块产生起始偏移量,并初始化类型域的提取模块,对各个解析状态进行

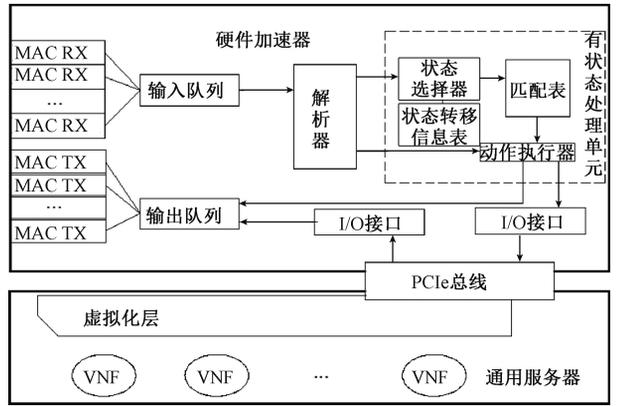


图 1 SFPA 整体架构

数据块编号,比较数据块编号和现有解析状态,当两者相同时则按照 RAM1 内的类型域偏移量选出对应的类型域,再把现有解析状态与提取得到的类型域共同传输至缓存模块中。对于缓存模块而言,TCAM 存放类型域包含了解析状态以及用户配置信息。其中,RAM2 的作用是存放已经处理完成的类型域状态域偏移量,RAM2 按照实际匹配结果使类型域提取模块进入后一解析状态,再把匹配域的偏移量传输至提取模块中,此时 RAM3 将把状态域偏移量发送给状态域提取模块。

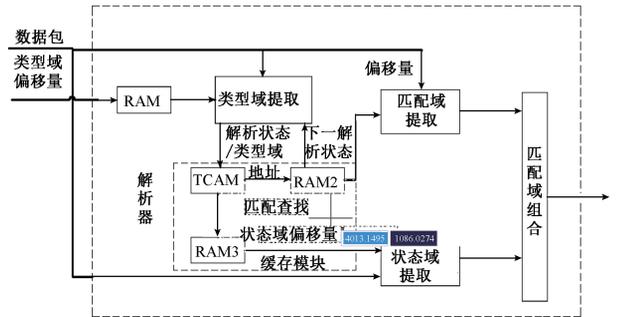


图 2 解析器结构

#### 1.3 资源分配模型

为使硬件资源得到更高效的使用,SFPA 把硬件资源分类成许多加速单元(accelerate the unit, AU),其宽度是  $\omega$ ,深度是  $d$ ,因为 AU 宽度与深度都可以相互搭配,此时应该从中选出最佳 AU 宽度与深度,有效减少硬件的资源消耗。

假定存在  $N$  个 VNF 通过 SFPA 加速,第  $i$  个 VNF 中的 AU 宽度是  $\omega_i$ ,深度是  $d_i$ ,同时满足  $1 \leq i \leq N$ ,可以得到对应加速单元开销是  $CAU(\omega_i, d_i)$ ,将其表示为  $CAU$ 。可以把上述资源的分配问题表述成如下形式:

$$\min: C_{sum} = \sum_{i=1}^N C_i \tag{1}$$

$$C_i = C_{STI_i}(k, l_{SI}) + C_{ss_i}(k, l_S) + C_{M_i}(m_i, D_i) \tag{2}$$

$$C_{z_i}(x, y) = n_{z_i} \times CAU \tag{3}$$

$$n_{z_i} = \langle x/\omega_i \rangle \times \langle y/D_i \rangle \quad (4)$$

$$\forall i \in (0, N]: 0 < \omega_i \leq \omega_{\max}, 0 < D_i \leq D_{\max} \quad (5)$$

## 2 性能分析

### 2.1 加速器转发性能分析

在分析 SFPA 对有状态功能进行加速的效果时,需先测试 SFPA 架构处理各个长度数据包时的速率。测试时,先选出 4 个 VNF 实例,要求可以在硬件平台上以并行方式完成独立加速的过程,同时利用 SPiRENTTESTCENTER 测试仪对数据平面吞吐量进行测试,得到如图 3 所示的结果。

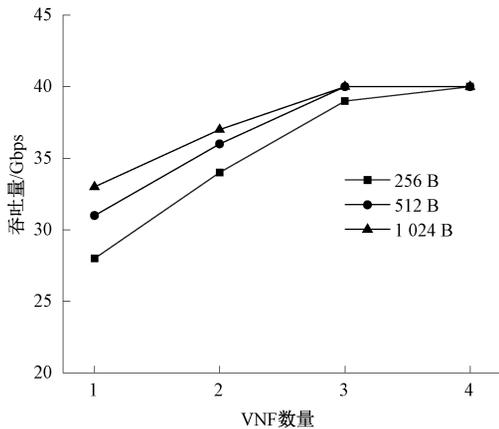


图3 SFPA处理速度与数据包长度的关系

根据图3结果可知,当对更多的VNF并行处理时,有助于提高SFPA架构的吞吐量,并且当并行加速的VNF数量比较少的情况下,数据包长度和加速器吞吐量表现为正相关的关系。采用NETFPGA-10 G板卡对4个VNF进行并行加速时,将使硬件加速平台发生满负荷运行,所有I/O资源都将得到充分利用,此时吞吐量增大至加速平台最高水平,可以达到40 Gbps线速。当VNF数量的较小时,数据包长度将会产生显著影响,由于这时硬件加速平台依然存在许多空闲资源,因此当数据包的长度增加后,有助于提高资源的利用率,从而使吞吐量上升;随着VNF数量的增加,加速平台的许多资源都将被占用,此时如果继续增加数据包的长度将不能进一步提高数据的处理效率。

### 2.2 资源分配优化算法性能分析

考虑到硬件资源总量有限,所以需要为SFPA设置资源分配优化算法,促进硬件利用率的提升。本文以优化率R来代表算法优化资源分配的效果,得到式(6)所示的优化率表达式。

$$R = \frac{C_{\text{sum}_0} - C_{\text{sum}_1}}{C_{\text{sum}_0}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $C_0$ 代表优化前的资源总开销; $C_1$ 代表优化后的资源总开销。通过ISE软件,测得不同数量VNF在加速平台上的资源开销情况,结果如表1所示。

表1 SFPA资源开销情况及优化率

VNF数量	Slice资源开销	资源使用率/%	优化率/%
1	7 168	18.95	28.66
2	13 962	38.62	43.08
3	22 058	56.48	42.26
4	28 465	75.24	22.68

使用资源分配优化算法之后,在SFPA中的Slice资源消耗总量发生了降低的现象,对于不同数量的VNF,采用此算法得到的优化率也存在明显的差异,对两个VNF实施并行加速时,可以获得最高优化率等于42%。在较少的VNF数量下,硬件平台只包含很少的加速器,此时资源较为充足,随着加速器数量的上升,可以更好地发挥优化算法的功能,有助于优化率的提高。随着VNF的数量达到2个以上时,资源消耗也将到达一个饱和状态,随着VNF数量的继续增加,优化效果将无法继续增加,对于4个VNF的情况,优化率发生了降低的现象。测试结果表明,采用iIP进行资源分配的优化算法具有明显的效果,由于本文只对特定状况进行了研究,因此部署SFPA时需结合实际情况进行分析。

## 3 结论

1)当对更多的VNF并行处理时,有助于提高SFPA架构的吞吐量。对4个VNF进行并行加速时,将使硬件加速平台发生满负荷运行,所有I/O资源都将得到充分利用,此时吞吐量增大至加速平台最高水平,可以达到40 Gbps线速。

2)使用资源分配优化算法之后,在SFPA中的Slice资源消耗总量发生了降低的现象,对于不同数量的VNF,采用此算法得到的优化率也存在明显的差异,对两个VNF实施并行加速时,可以获得最高优化率等于42%。

### 参考文献

- [1] 尹魏昕,周迅钊,徐雷.基于安全感知的云无线接入网络资源分配算法研究[J].网络安全技术与应用,2018(7):39-41,58.
- [2] 李敏,许振飞,许崇志,等.QoS驱动的电力通信网效用最大化资源分配机制[J].计算机系统应用,2018,27(7):265-271.
- [3] 孙彦赞,范卫蓉,张舜卿,等.基于图着色的密集D2D网络资源分配算法[J].计算机工程,2019,45(2):26-31.
- [4] 毛莉君,张燕.基于能效的异构无线网络资源分配与切换调度机制研究[J].计算机测量与控制,2018,26(6):231-235.
- [5] 徐勇军,李国权,徐鹏,等.异构无线网络资源分配算法研究综述[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2018,30(3):289-299.
- [6] 王汝言,周静,吴大鹏.C-RAN回传网络中下行资源调

- 度策略[J].工程科学学报,2018,40(5):629-638.
- [7] 王楚捷,王好贤.M-CORD下无线接入网络资源分配研究[J].计算机工程与应用,2018,54(22):92-98.
- [8] 杜秋月.基于微观经济学方法下网络资源分配的思  
考[J].中国市场,2018(10):196-198.
- [9] 高赐威,曹晓峻,闫华光,等.数据中心电能管理及参与  
需求侧资源调度的展望[J].电力系统自动化,2017,  
41(23):1-7.
- [10] 曹晓峻,高赐威,李德智,等.数据网络与电力网络混合  
运行建模及其参与系统经济运行[J].中国电机工程学  
报,2018,38(5):1448-1456.
- [11] 陈治宇.基于预测的虚拟网络资源分配方法[J].电子测  
试,2018(15):76-77.
- [12] 吴诗奎,王艳.软件定义网络的异构无线网络资源分配  
框架[J].计算机应用,2018,38(11):3293-3298.
- [13] 诸葛斌,亓一航,傅哈文,等.基于SDN框架的网络资  
源定价策略[J].电信科学,2018,34(7):49-61.
- [14] 李敏,许振飞,许崇志,等.QoS驱动的电力通信网效用  
最大化资源分配机制[J].计算机系统应用,2018,  
27(7):265-271.
- [15] 孙彦赞,范卫蓉,张舜卿,等.基于图着色的密集D2D网  
络资源分配算法[J].计算机工程,2019,45(2):26-31.

### 作者简介

苏超,硕士、高级工程师,主要从事输电智能运维管理与  
研究工作。

E-mail: duanqun975051@126.com