

# زنجیره‌سازی کارکردهای مجازی سرویس شبکه با لحاظ محدودیت منابع مدیریتی

مهندسی فناوری اطلاعات - شبکه‌های کامپیوتری

---

پرهام الوانی

پاییز ۱۳۹۷

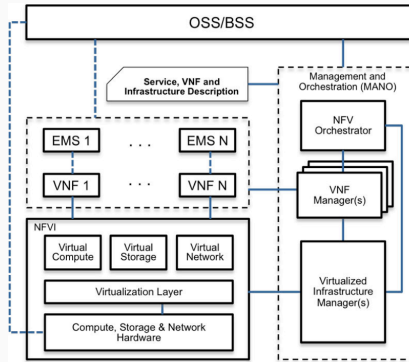
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دکتر بهادر بخشی

- ◀ مقدمه
- ◀ چالش‌ها
- ◀ سابقه‌ی کارها
- ◀ تعریف مساله
- ◀ چالش‌ها و نوآوری‌های مساله
- ◀ معیار و نحوه‌ی ارزیابی
- ◀ فرمول‌بندی
- ◀ مراجع

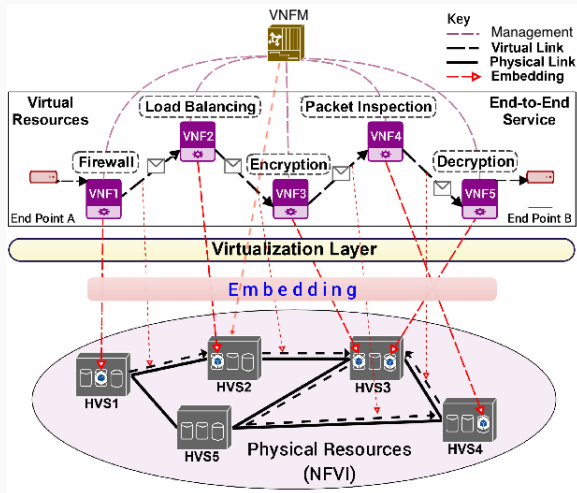
- ◀ عدم انعطاف‌پذیری معماری فعلی شبکه
- ◀ در مجازی‌سازی کارکرد شبکه با استفاده از مجازی‌سازی منابع، می‌توان کارکردها را بر روی سرورهای استاندارد اجرا کرد و بهره‌وری منابع را افزایش داده و هزینه‌های انرژی را کاهش داد.
- ◀ زنجیره‌سازی کارکرد سرویس نیز امکان ایجاد زنجیره‌ای از کارکردها را به صورت پویا فراهم می‌کند.

- ◀ با توجه به جداسازی زیرساخت از نرم افزار کارکردهای شبکه نیاز به هماهنگی میان آنها ایجاد شده است.
- ◀ به صورت کلی تفاوت هایی که با توجه به فرآیند مجازی سازی کارکردهای شبکه ایجاد شده اند را می توان به ترتیب زیر دسته بندی نمود:
  - زیرساخت مجازی سازی شده
  - کارکردهای شبکه ای مجازی سازی شده
  - سرویس های شبکه ای



شکل ۱: معماری سطح بالای مجازی سازی کارکردهای شبکه

- ◀ NFVO وظیفه‌ی استقرار زنجیره‌های کارکرد سرویس را برعهده دارد.
- ◀ VNFM مسئول چرخه‌ی زندگی کارکردهای مجازی شبکه می‌باشد.
- ◀ چرخه‌ی زندگی هر کارکرد مجازی شامل عملیات‌هایی همچون نمونه‌سازی، مقیاس‌کردن، به‌روزرسانی و پایان دادن می‌باشد.
- ◀ هر نمونه از کارکردهای مجازی شبکه نیاز دارد تحت مدیریت یکی از VNFM‌های موجود در شبکه باشد.



- ◀ مدیریت و هماهنگی
- ◀ مصرف بهینه‌ی انرژی
- ◀ تخصیص منابع به
- ◀ کارکردهای مجازی
- ◀ مسیریابی زنجیره‌های
- ◀ کارکرد سرویس
- ◀ پذیرش زنجیره‌های
- ◀ کارکرد سرویس
- ◀ به روزرسانی و مقیاس
- ◀ کردن کارکردهای مجازی
- ◀ سرویس

جدول ۱: مقایسه مقالات پذیرش زنجیره‌های کارکرد سرویس

منبع	منابع تخصیص یافته	محدودیت ظرفیت پردازشی نمونه	برخط یا برون خط	نگاشت کارکرد و لینک	انتساب کارکرد	اشتراک نمونه	تخصیص VNFМ									
#	other	MEM	BW	CPU	دارد	ندارد	برخط	برون خط	کارکرد	لینک	یک نمونه	چند نمونه	دارد	ندارد	دارد	ندارد
[۱]	—	—	✓	✓	—	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	—	✓	—	✓
[۲]	—	—	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓
[۳]	—	—	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓
[۴]	—VNFМ capacity	—	—	—	—	✓	—	—	—	✓	—	—	—	✓	—	—
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓	✓	—



- ◀ این مقاله به مانند کار پژوهشی حاضر تاخیر را در لینک‌های مدیریتی در نظر می‌گیرد.
- ◀ این مقاله فرض می‌کند زنجیره‌ها از پیش پذیرفته شده‌اند.
- ◀ هدف این مقاله جایگذاری VNFMs را به صورت مستقل با هدف کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌باشد.

M. Abu-Lebdeh, D. Naboulsi, R. Glitho, *et al.*, “On the placement of VNF managers in large-scale and distributed NFV systems,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 14, no. 4, pp. 875–889, Dec. 2017. DOI: 10.1109/tnsm.2017.2730199. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/tnsm.2017.2730199>

پذیرفتن بیشترین تقاضای زنجیره کارکرد سرویس با در نظر گرفتن نیاز هر نمونه کارکرد مجازی شبکه به یک VNFM.

- ◀ توپولوژی زیرساخت شامل پنهای باند لینک‌ها و ظرفیت NFVI-PoP‌ها، موجود است.
- ◀  $n$  تقاضای زنجیره کارکرد سرویس به صورت کامل و از پیش مشخص شده داریم.
- ◀ هر تقاضا شامل نوع و تعداد نمونه‌های مجازی، پنهای باند لینک‌های مجازی و توپولوژی نمونه‌های مجازی می‌باشد.
- ◀ تعداد پردازنده‌هایی که به هر نمونه تخصیص می‌یابد با توجه به ترافیک ورودی نمونه مشخص می‌شود. این امر توسط اپراتور در زمان تعریف مساله صورت می‌پذیرد.

- ◀ نمونه‌ها بین زنجیره‌ها به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.
- ◀ محدودیت ظرفیت لینک‌ها
- ◀ محدودیت توان پردازش سرورهای فیزیکی با توجه به میزان حافظه و تعداد پردازنده‌ها

- ◀ برای مدیریت یکدست و آسان تر زنجیره ها و در عین حال جمع آوری راحت تر خطاها، برای هر زنجیره یک VNFM تخصیص می دهیم.
- ◀ VNFM ها می توانند بین زنجیره به اشتراک گذاشته شوند.
- ◀ هر نمونه از VNFM ها می تواند تعداد مشخصی از نمونه های کارکرد مجازی شبکه را سرویس دهد.
- ◀ برای ارتباط میان هر نمونه از VNFM ها و VNF ها پهنای باند مشخصی رزرو می گردد.
- ◀ در صورتی که NFVI-PoP بتواند از VNFM پشتیبانی نماید، می توان به هر تعداد که ظرفیت آن اجازه می دهد بر روی آن VNFM نصب نمود.

- ◀ در نظر گرفتن نیازمندی هر نمونه کارکرد مجازی به یک VNF
- ◀ در نظر گرفتن نیازمندی تاخیر برای لینک‌های مدیریتی
- ◀ تخصیص منابع مدیریتی به زنجیره‌ها و مسیریابی ارتباط مدیریتی
- ◀ جایگذاری و مسیریابی توامان زنجیره‌های کارکرد سرویس

- ◀ مدل‌سازی مساله
- ◀ حل مساله‌ی بهینه در ابعاد کوچک
- ◀ پیاده‌سازی راه‌حل مکاشفه‌ای
- ◀ معیار مقایسه این راه حل نرخ پذیرش تقاضاهای زنجیره‌های کارکرد سرویس می‌باشد.
- ◀ مقایسه‌ی نتایج راه‌حل مکاشفه‌ای با جواب بهینه
- ◀ مقایسه با کارهای مرتبط که نیازمندی‌های مدیریتی را مدنظر قرار نداده‌اند.

فرمول‌بندی و مدل‌سازی ریاضی مساله



## پارامترهای مساله

$memory(k)$	required RAM of VNF instance with type $k$ in GB
$core(k)$	required CPU cores of VNF instance with type $k$
$memory$	required RAM of VNFM in GB
$côre$	required CPU cores of VNFM
$capacity$	maximum number of VNF instances that VNFM can handle
$len(h)$	number of VNF instances in $h$ th SFC request

## پارامترهای مساله

$type(v, k)$	assuming the value 1 if the VNF instance $v$ has type $k$
$bandwidth(u, v)$	required bandwidth in link from VNF instance $u$ to $v$
$\hat{bandwidth}$	required bandwidth in management link
$radius$	maximum neighborhood distance for instance management

## متغیرهای تصمیم گیری

- $x_h$  binary variable assuming the value 1 if the  $h$ th SFC request is accepted; otherwise its value is zero
- $y_{wk}$  the number of VNF instances of type  $k$  that are used in server  $w \in V_s^{PN}$
- $z_{vw}^k$  binary variable assuming the value 1 if the VNF node  $v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}$  is served by the VNF instance of type  $k$  in the server  $w \in V_s^{PN}$

متغیرهای تصمیم گیری

- $\bar{y}_w$  the number of VNFMs that are used in server  $w \in V_s^{PN}$
- $\bar{z}_{hw}$  binary variable assuming the value 1 if  $h$ th SFC is assigned to VNFM on server  $w \in V_s^{PN}$

هدف اصلی مساله پذیریش بیشترین تعداد تقاضا می باشد. در اینجا فرض می کنیم پذیرش هر تقاضا سودی منحصر به فرد خواهد داشت. بنابراین تابع هدف به شکل زیر می باشد:

$$\max \sum_{h=1}^T x_h \quad (1)$$

محدودیت حافظه نودها

$$\sum_{k=1}^F y_{wk} memory(k) + \bar{y}_w me\bar{m}ory \leq N_{ram}^{PN}(w) \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (2)$$

محدودیت تعداد پردازنده‌های نودها

$$\sum_{k=1}^F y_{wk} core(k) + \bar{y}_w c\bar{o}re \leq N_{core}^{PN}(w) \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (3)$$

اگر VNF،  $v$  توسط VNF instance نوع  $k$  روی سرور  $w$  سرویس شود می بایست VNF instance نوع  $k$  روی سرور  $w$  فعال شود. توجه شود که اشتراک گذاری VNF ها پشتیبانی نمی گردد.

$$\sum_{v \in \bigcup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}} z_{vw}^k \leq y_{wk} \quad \forall w \in V_s^{PN}, \forall k \in [1, \dots, F] \quad (4)$$

اگر تقاضای  $h$  پذیرفته شده باشد می بایست تمام VNF node های آن سرویس شده باشند.  
 یک VNF حداکثر یکبار سرویس داده شود.

$$x_h = \sum_{k=1}^F \sum_{w \in V_s^{PN}} z_{vw}^k \quad \forall v \in V_{h,F}^{SFC}, \forall h \in [1, \dots, T] \quad (5)$$



اگر تقاضای  $h$  پذیرفته شده باشد می بایست توسط یک VNFم سرویس شده باشد. توجه شود که این محدودیت اجازهی تخصیص بیش از یک VNFم به زنجیره نمی دهد.

$$x_h = \sum_{w \in V_s^{PN}} \bar{z}_{hw} \quad \forall h \in [1, \dots, T] \quad (6)$$

اگر SFC،  $i$  توسط VNFМ روی سرور  $w$  سرویس شود می بایست یک VNFМ سرور  $w$  برای آن فعال شود.

$$\sum_{h=1}^T \bar{z}_{hw} \leq \bar{y}_w \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (7)$$

محدودیت ظرفیت سرویس دهی VNFМ

$$\sum_{i=1}^T \bar{z}_{iw} * len(i) \leq capacity \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (8)$$

اگر  $VNF$ ،  $v$  توسط نمونه‌ای نوع  $k$  روی سرور  $w$  سرویس می‌شود می‌بایست این  $VNF$  از نوع  $k$  باشد.

$$z_{vw}^k \leq type(v, k) \quad \forall w \in V_s^{PN}, \forall k \in [1, \dots, F], \forall v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC} \quad (9)$$

## متغیرهای تصمیم گیری

- $\tau_{ij}^{(u,v)}$  binary variable assuming the value 1 if the virtual link  $(u, v)$  is routed on the physical network link  $(i, j)$
- $\bar{\tau}_{ij}^v$  binary variable assuming the value 1 if the management traffic of VNF node  $v$  is routed on the physical network link  $(i, j)$

## Flow Conservation

$$\begin{aligned}
\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \tau_{ij}^{(u,v)} - \sum_{(j,i) \in E^{PN}} \tau_{ji}^{(u,v)} &= \sum_{k=1}^F z_{ui}^k - \sum_{k=1}^F z_{vi}^k \\
\forall i \in V_S^{PN}, (u, v) \in E_h^{SFC}, h \in [1, \dots, T] & \quad (10)
\end{aligned}$$

## Flow Conservation

$$\begin{aligned}
\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ij}^v - \sum_{(j,i) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ji}^v &= \sum_{k=1}^F z_{vi}^k - \bar{z}_{hi} \\
\forall i \in V_S^{PN}, v \in V_{h,F}^{SFC}, h \in [1, \dots, T]
\end{aligned} \tag{11}$$

محدودیت ظرفیت لینک‌ها

$$\sum_{v \in \bigcup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}} \bar{\tau}_{ij}^v * bandwidth + \sum_{(u,v) \in \bigcup_{i=1}^T E_i^{SFC}} \tau_{ij}^{(u,v)} * bandwidth(u,v) \leq C_{ij}$$

$$\forall (i,j) \in E^{PN}$$

$$(12)$$

شعاع همسایگی تضمین می کند که زمان سرویس دهی توسط VNFM ها در یک بازه مشخص (از نظر تعداد هاب) خواهد بود.

$$\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ij}^v \leq radius \quad \forall v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC} \quad (13)$$



## ارزیابی

فرمول‌بندی ارائه شده بر روی نرم‌افزار cplex که محصول شرکت IBM بوده و برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی و ... استفاده می‌شود، به زبان جاوا پیاده‌سازی شده و تست گشت.



زنجیره‌های زیر را به عنوان تقاضاها در نظر می‌گیریم.

Chain 1



RAM: 1Gb  
Core: 1

Chain 2



BW: 1

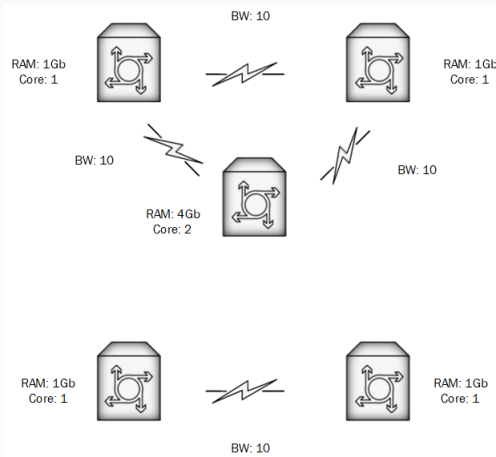


BW: 1

RAM: 2Gb  
Core: 2



فرض می‌کنیم مرکز داده‌ای دارای توپولوژی زیر می‌باشد.



در نهایت نتیجه زیر از مساله حاصل می‌گردد.

```
cost = 20.0
```

```
>> Chains
```

```
Chain 0 is accepted.
```

```
Chain 1 is accepted.
```

```
>> Instance mapping
```

```
Chain 0:
```

```
Node 0 with type 0 is mapped on 3
```

```
Chain 1:
```

```
Node 0 with type 0 is mapped on 2
```

```
Node 1 with type 0 is mapped on 1
```

```
Node 2 with type 0 is mapped on 2
```

>> Manager mapping

Chain 0 manager is 4

Chain 1 manager is 0

>> Instance links

Chain 1 link 1 (0 - 2) is on 2-0

Chain 1 link 0 (0 - 1) is on 3-4

>> Management links





Chain 0 node 0 manager is on 3-4

Chain 1 node 1 manager is on 1-2

Chain 1 node 0 manager is on 2-0

Chain 1 node 1 manager is on 2-0

Chain 1 node 2 manager is on 2-0

-  V. Eramo, A. Tosti, and E. Miucci, "Server resource dimensioning and routing of service function chain in NFV network architectures," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2016, pp. 1–12, 2016. DOI: 10.1155/2016/7139852. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2016/7139852>.
-  M. Ghaznavi, N. Shahriar, S. Kamali, R. Ahmed, and R. Boutaba, "Distributed service function chaining," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 11, pp. 2479–2489, Nov. 2017. DOI: 10.1109/jsac.2017.2760178. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/jsac.2017.2760178>.
-  H. Huang, P. Li, S. Guo, W. Liang, and K. Wang, "Near-optimal deployment of service chains by exploiting correlations between network functions," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, pp. 1–1, 2017. DOI: 10.1109/tcc.2017.2780165. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/tcc.2017.2780165>.
-  M. Abu-Lebdeh, D. Naboulsi, R. Glitho, and C. W. Tchouati, "On the placement of VNF managers in large-scale and distributed NFV systems," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 14, no. 4, pp. 875–889, Dec. 2017. DOI: 10.1109/tnsm.2017.2730199. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/tnsm.2017.2730199>.