

# مجازی‌سازی قطعی کارکردهای شبکه

---



دانشکده مهندسی  
کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پرهام الوانی

۲ بهمن ۱۳۹۹

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دکتر بهادر بخشی

## ۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## ۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## ۲ شبکه‌های قطعی

## ۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## ۲ شبکه‌های قطعی

## ۳ مرور ادبیات

۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲ شبکه‌های قطعی

۳ مرور ادبیات

۴ مسالهی پیشنهادی

# ۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## ۲ شبکه‌های قطعی

## ۳ مرور ادبیات

## ۴ مسالهی پیشنهادی

# ۱. مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

---

## شبکه‌های سنتی

- ◀ یک سرویس شبکه به صورت تعدادی **کارکرد مشخص** که ترافیک با **ترتیب مشخصی** از آن‌ها عبور می‌کند، تعریف می‌شود.
- ◀ کارکردهای شبکه به صورت سخت‌افزار و نرم‌افزار اختصاصی تهیه شده از سازندگان مختلف استفاده می‌شوند.
- ◀ کارکردها باید در **مکان مناسب** در شبکه قرار گیرند و ترافیک به سمت آن‌ها **هدایت** شود.



## شبکه‌های سنتی

◀ افزایش نیازمندی به سرویس‌های **متنوع** با **عمر کوتاه** و **نرخ بالای ترافیک**

- خریداری، انبارداری و استقرار سخت‌افزارهای اختصاصی
- افزایش هزینه‌های خرید، آموزش و انبارداری
- کاهش فضای فیزیکی
- سرشار آموزش کارکنان
- محدودیت نوآوری در سخت‌افزار و سرویس

Network Functions Virtualization

مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## شبکه‌های سنتی

- ◀ ترافیک کاربر باید از تعدادی کارکرد شبکه به ترتیب معینی عبور کند.
  - ◀ کارکردها به صورت سخت‌افزاری به یکدیگر متصل هستند و ترافیک با استفاده از جداول مسیریابی به سمت آن‌ها هدایت می‌شود.
  - ◀ نیاز به تغییر همبندی سریع و یا مکان کارکردها برای سرویس‌دهی بهتر
- استقرار و تغییر ترتیب کارکردها دشوار است
  - امکان رخ دادن خطاهای متعدد

## Service Function Chaining

### زنجیره‌سازی کارکرد سرویس

# راهکار NFV

## ◀ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

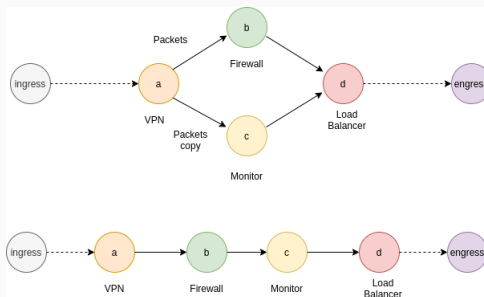
- اواخر سال ۲۰۱۲، ETSI NFV ISG توسط هفت اپراتور جهانی شبکه تأسیس شد.
- اکنون بیش از ۲۵۰ سازمان با آن همکاری می‌کنند.
- اجرای کارکردها بر روی سرورهای استاندارد با توان بالا به وسیله مجازی‌سازی کارکردها
- کاهش نیاز به تجهیزات سخت‌افزاری خاص منظوره
- اشتراک گذاری منابع بین کارکردها
- کاهش هزینه‌های تجهیزات و مصرف انرژی از طریق تجمیع کارکردها

## ◀ زنجیره‌سازی کارکرد سرویس

- امکان تعریف زنجیره کارکردها به صورت پویا و بدون تغییر در زیرساخت فیزیکی
- قابل اجرا بر بستر شبکه‌های سنتی یا نرم‌افزار بنیان
- RFC 7665

# راهکار NFV

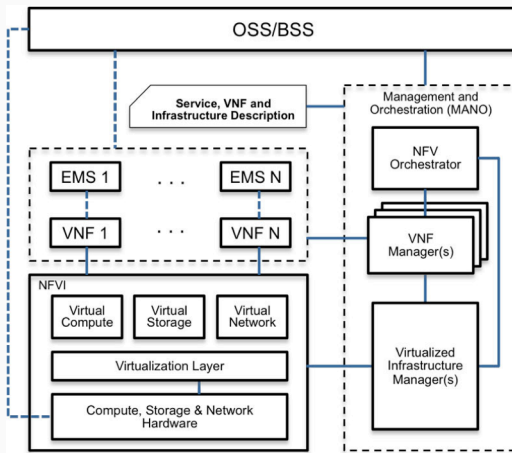
- ◀ زنجیره‌های مرتب تمام
- ◀ زنجیره‌های مرتب جزئی



## شکل ۱: زنجیره‌های مرتب جزئی و کامل

Song Yang et al. "Recent Advances of Resource Allocation in Network Function Virtualization". In: *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 32.2 (Feb. 2021), pp. 295–314. DOI: 10.1109/tpds.2020.3017001. URL: <https://doi.org/10.1109/tpds.2020.3017001>

# راهکار NFV



**شکل ۲: معماری سطح بالای مجازی‌سازی کارکردهای شبکه**

# راهکار NFV

- ◀ NFVO وظیفه‌ی استقرار زنجیره‌های کارکرد سرویس را برعهده دارد.
- ◀ VNFM مسئول چرخه‌ی زندگی کارکردهای مجازی شبکه می‌باشد.

## تخصیص منابع

- ◀ جایگذاری کارکردهای مجازی شبکه به همراه مسیریابی ترافیک  
VPTR: VNF Placement and Traffic Routing
- ◀ جایگذاری کارکردهای مجازی شبکه  
VNFP: VNF Placement
- ◀ مسیریابی ترافیک  
TRR: Traffic Routing
- ◀ بازاستقرار و تثبیت کارکردهای مجازی شبکه  
VRC: VNF Redeployment and Consolidation



## اهداف

## ◀ هزینه

- مسالهای پایه‌ای در بحث تخصیص منابع
- وجود جواب با برآورده شدن محدودیت‌های نودها و لینک‌ها
- NP-Hard

## ◀ کیفیت سرویس

## • تاخیر

- انتشار
- انتقال
- صف
- پردازش

## • دسترسی پذیری

## اهمیت تاخیر

- ◀ کیفیت سرویس انتها به انتها یک زنجیره در واقع معیار کارآیی است که توسط کاربران احساس می‌شود.
- ◀ ظهور اینترنت اشیا و شبکه‌های نسل پنجم
  - Tactile Internet
  - شبکه‌های باتاخر بسیار کم

## مدل‌سازی تاخیر

- ◀ برای محاسبه تاخیر نیاز به مدل‌سازی می‌باشد.
- ◀ می‌توان تاخیر را ثابت فرض کرده یا آن را به صورت معین در نظر گرفت.
- ◀ تاخیر تصادفی
  - تئوری صف: حالت میانه را پیدا می‌کند.
  - **Network Calculus**: بدترین حالت را پیدا می‌کند و می‌بایست مدل مناسب با کمترین فاصله را بدست آورد.

۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲ شبکه‌های قطعی

۳ مرور ادبیات

۴ مسالهی پیشنهادی

## ۲. شبکه‌های قطعی

---

## مقدمه

◀ حضور کاربردهای بلندرنگ بسیار حساس به تاخیر و خرابی

- مهاجرت از شبکه‌های خاص منظوره به شبکه‌های IP
- تاخیر قطعی در مقابل تاخیر احتمالی

◀ عدم قطعیت ذاتی شبکه‌های فعلی

- الگوریتم‌های زمان‌بندی
- ازدحام
- خرابی
- ...

◀ نیاز به ایجاد قطعیت در معماری شبکه

# شبکه‌سازی حساس به زمان (Time Sensitive Networking)

◀ کارگروه IEEE 802.1 TSN

◀ تمرکز بر لایه پیوند داده

◀ جریان TSN: یک ارتباط شبکه‌ای تک‌پخشی یا چندپخشی از یک ایستگاه انتهایی به یک ایستگاه انتهایی دیگر

- Flow Concept
- Flow Synchronization
- Flow Management
- Flow Control
- Flow Integrity

## شبکه‌سازی قطعی (Deterministic Networking)

- ◀ کارگروه IETF DetNet
- ◀ تمرکز بر لایه شبکه
- ◀ جریان‌های DetNet بر اساس کلاس‌های کیفیت سرویس مشخص می‌شوند.
- ◀ اهداف
  - کران معین برای تاخیر
  - کران معین تغییرات تاخیر
  - کمترین میزان از دست رفتن بسته



## معماری شبکه‌سازی قطعی

- ◀ کیفیت سرویس در شبکه‌های قطعی:
  - کران بالا و پایین برای تاخیر انتها به انتها از مبدا به مقصد، تغییرات تاخیر کران‌دار، ارسال زمان‌دار
  - نسبت از دست رفتن بسته‌ها تحت فرض‌های مختلف
  - کران بالا برای بسته‌های خارج از ترتیب
- ◀ تنها دغدغه در شبکه‌سازی قطعی بدترین حالت‌ها می‌باشند.
- ◀ اینجا حالت‌های میانگین و ... از اهمیت کمی برخوردار هستند.
- ◀ تکنیک‌های برآورده ساختن نیازمندی‌های کیفیت سرویس
  - تخصیص منابع
  - حفاظت از سرویس
  - مسیرهای صریح

## معماری شبکه‌سازی قطعی

### ◀ تخصیص منابع

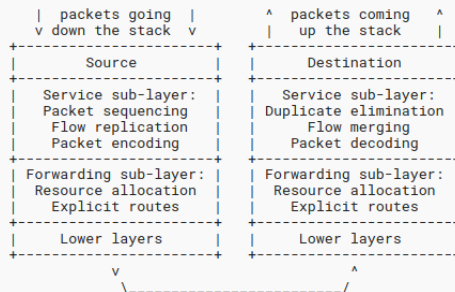
- بدست آوردن کیفیت سرویس با از بین بردن یا کاهش اثر از دست رفتن بسته‌ها در اثر ازدحام
- کاهش تغییرات تاخیر

### ◀ حافظت از سرویس با تحمل یا از بین بردن از دست رفتن بسته‌ها در اثر خرابی تجهیزات

- ارسال به ترتیب بسته‌ها
- تکرار بسته‌ها
- کد کردن بسته‌ها

### ◀ مسیرهای صریح در اثر تغییرات بلافاصله تغییر نمی‌کند و تلاش می‌کند تا حد امکان تغییر نکند.

# معماری شبکه‌سازی قطعی



شکل ۳: معماری پشته شبکه‌های قطعی

# آشنایی با Network Calculus

◀ دیود  $(R \cup +\infty, \wedge, +)$

◀ جمع تبدیل به محاسبه‌ی infimum می‌شود.

◀ ضرب به جمع تبدیل می‌شود.

$$(3 \wedge 4) + 5 = (3 + 5) \wedge (4 + 5) = 8 \wedge 9 = 8$$

◀ پیچیش کمینه - جمع

$$(f \otimes g)(t) = \int_0^t f(t-s)g(s)ds$$

# آشنایی با Network Calculus

◀ **منحنی ورودی**، جریان  $R$  با  $\alpha(\cdot)$  محدود شده است.

$$R(t) - R(s) \leq \alpha(t - s)$$

◀ **منحنی سرویس** برای جریان ورودی  $R$  و جریان خروجی  $R^*$  برابر با  $b$ :

$$R^* \geq R \otimes b$$

۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲ شبکه‌های قطعی

۳ مرور ادبیات

۴ مسالهی پیشنهادی

### ۳. مرور ادبیات

---

## مرجع [۱]

- ◀ مساله‌ی زمان‌بندی سرویس‌های شبکه
- ◀ سرویس‌های شبکه در قالب تعداد کارکرد مجازی با عمر محدود
- ◀ کارکردهای مجازی شبکه به صورت store-and-forward عمل می‌کنند.
- ◀ تاخیر انتقال و تاخیر پردازش
- ◀ این مقاله محدودیت پردازش برای نودها و ظرفیت برای لینک‌ها را در نظر گرفته است.
- ◀ کارکردها می‌توانند میزان جریان عبوری را تغییر دهند. مثلاً دیوار آتش می‌تواند بسته‌ها را عبور ندهد.

---

Long Qu, Chadi Assi, and Khaled Shaban. "Delay-Aware Scheduling and Resource Optimization With Network Function Virtualization". In: *IEEE Transactions on Communications* 64.9 (Sept. 2016), pp. 3746–3758. DOI: 10.1109/tcomm.2016.2580150. URL: <https://doi.org/10.1109/tcomm.2016.2580150>



## مرجع [۳]

- ◀ ارائه‌ی یک چهارچوب مدیریتی براساس مدل تاخیر ارائه شده
- ◀ تاخیر پردازش برای تعداد مشخصی نمونه از کارکرد
- ◀ دسته‌بندی کارکردها
  - وابسته به اندازه بسته (exponential)
  - مستقل از اندازه بسته (deterministic)

---

Qing Li et al. "Quokka: Latency-Aware Middlebox Scheduling with dynamic resource allocation". In: *Journal of Network and Computer Applications* 78 (Jan. 2017), pp. 253–266. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.10.021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.10.021>

## [۷] مرجع

- ◀ تاخیر انتقال و تاخیر پردازش
- ◀ در نظر گرفتن زنجیره‌های مرتب جزئی و تاثیر آن‌ها بر تاخیر
- ◀ قطعه قطعه کردن زنجیره‌های مرتب جزئی برای تبدیل آن‌ها به تعدادی زنجیره مرتب کامل

---

Song Yang et al. "Delay-Sensitive and Availability-Aware Virtual Network Function Scheduling for NFV". In: *IEEE Transactions on Services Computing* (2019), pp. 1–1. DOI: 10.1109/tsc.2019.2927339. URL: <https://doi.org/10.1109/tsc.2019.2927339>

## مرجع [۵]

- ◀ تاخیر انتقال ثابت در نظر گرفته شده است.
- ◀ زنجیره‌ها نیازمندی تاخیر انتها به انتها دارند.
- ◀ مسالهی بهینه‌سازی چند دوره‌ای
- ◀ به اشتراک گذاری نمونه‌ها
- ◀ گسترش عرضی و طولی
- ◀ عدم توانایی در نظر گرفتن همه این شرایط در مسالهی بهینه‌سازی

---

Meitian Huang et al. "Maximizing Throughput of Delay-Sensitive NFV-Enabled Request Admissions via Virtualized Network Function Placement". In: *IEEE Transactions on Cloud Computing* (2019), pp. 1–1. DOI: 10.1109/tcc.2019.2915835. URL: <https://doi.org/10.1109/tcc.2019.2915835>

- ◀ یافتن کران پایین سرویس‌دهی و استفاده از Network Calculus برای زنجیره‌سازی آن‌ها
- ◀ در نظر گرفتن نمایه Latency Rate (LR) برای سرویس‌ها

$$P[r, \theta](t) = \max\{0, r(t - \theta)\}$$

$\theta$  : latency

$r$  : rate

---

Qiang Duan. "Modeling and Performance Analysis for Service Function Chaining in the SDN/NFV Architecture". In: *2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft)*. IEEE, June 2018. DOI: 10.1109/netsoft.2018.8460068. URL: <https://doi.org/10.1109/netsoft.2018.8460068>

## مرجع [۶]

- ◀ ارائه یک چهارچوب برای محاسبه کران تاخیر
- ◀ Stochastic Network Calculus
- ◀ کران با احتمال تخطی

---

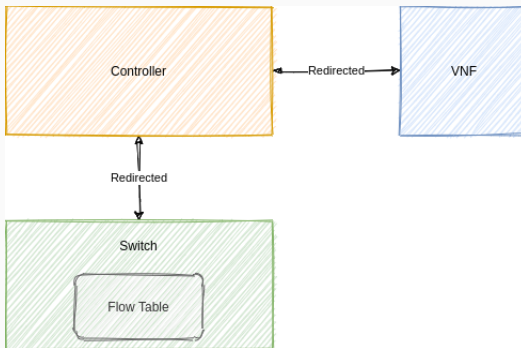
Wang Miao et al. "Stochastic Performance Analysis of Network Function Virtualization in Future Internet". In: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 37.3 (Mar. 2019), pp. 613–626. DOI: 10.1109/jsac.2019.2894304. URL: <https://doi.org/10.1109/jsac.2019.2894304>

## ◀ در نظر گرفتن دو معماری مختلف برای ترکیب شبکه‌های SDN و NFV

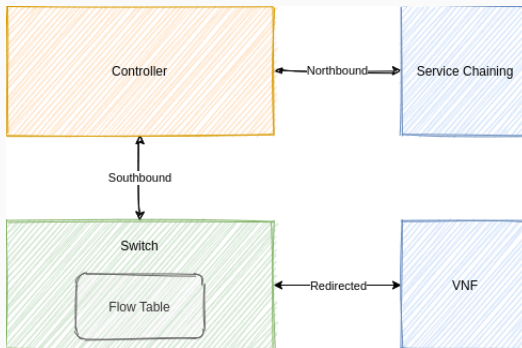
- Controller interacts with VNFs
- Switches interacts with VNFs

---

Ahmed Fahmin et al. "Performance Modeling of SDN with NFV under or aside the Controller". In: *2017 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*. IEEE, Aug. 2017. DOI: 10.1109/ficloudw.2017.76. URL: <https://doi.org/10.1109/ficloudw.2017.76>



**شکل ۴:** معماری SDN و NFV در کنار یکدیگر



**شکل ۵:** معماری SDN و NFV در کنار یکدیگر



## سابقه‌ی کارها

## جدول ۱: جمع‌بندی مقالات کیفیت سرویس

اندازه بافر	تاخیر				مدل‌سازی	مرجع
	پردازش	صف	انتقال	انتشار	تئوری صف Net. Calculus	#
	—	—	—	—	✓	[۶]
	—	—	—	—	—	[۱]
	—	—	—	—	—	[۳]
	—	—	—	—	—	[۷]
	—	—	—	—	—	[۵]
	—	—	—	—	✓	[۴]

## فهرست

۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲ شبکه‌های قطعی

۳ مرور ادبیات

۴ مسالهی پیشنهادی

## ۴. مسالهی پیشنهادی

---

## مسالهی پیشنهادی

- ◀ نیازمندی‌های شبکه‌های قطعی
- ◀ کران بالای پارامترهای غیرقطعی
- ◀ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

## مسالهی پیشنهادی

جایگذاری زنجیره‌هایی با کارکردهای قطعی در زیرساخت مجازی‌سازی شبکه

## روش پیشنهادی

۱. مدل‌سازی تاخیر با استفاده از Network Calculus برای محاسبه کران‌های بالا
۲. مدل‌سازی مساله‌ی بهینه‌سازی
۳. تخمین مساله‌ی بهینه‌سازی با یادگیری تقویتی و ...

## یادگیری تقویتی

۱. استفاده از عامل‌های یادگیری تقویتی در مساله عامل برنامه‌ریزی خطی  
صحیح

Yunhao Tang, Shipra Agrawal, and Yuri Faenza. “Reinforcement Learning for Integer Programming: Learning to Cut”. In: *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*. Ed. by Hal Daumé III and Aarti Singh. Vol. 119. Proceedings of Machine Learning Research. PMLR, 2020, pp. 9367–9376. URL: <http://proceedings.mlr.press/v119/tang20a.html>

۲. استفاده از عامل‌های یادگیری تقویتی در مساله جایگذاری سرویس‌های مجازی شبکه

## مراجع ۱

- [1] Long Qu, Chadi Assi, and Khaled Shaban. "Delay-Aware Scheduling and Resource Optimization With Network Function Virtualization". In: *IEEE Transactions on Communications* 64.9 (Sept. 2016), pp. 3746–3758. DOI: 10.1109/tcomm.2016.2580150. URL: <https://doi.org/10.1109/tcomm.2016.2580150>.
- [2] Ahmed Fahmin et al. "Performance Modeling of SDN with NFV under or aside the Controller". In: *2017 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*. IEEE, Aug. 2017. DOI: 10.1109/ficloudw.2017.76. URL: <https://doi.org/10.1109/ficloudw.2017.76>.



## مراجع ۲

- [3] Qing Li et al. "Quokka: Latency-Aware Middlebox Scheduling with dynamic resource allocation". In: *Journal of Network and Computer Applications* 78 (Jan. 2017), pp. 253–266. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.10.021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.10.021>.
- [4] Qiang Duan. "Modeling and Performance Analysis for Service Function Chaining in the SDN/NFV Architecture". In: *2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft)*. IEEE, June 2018. DOI: 10.1109/netsoft.2018.8460068. URL: <https://doi.org/10.1109/netsoft.2018.8460068>.

## مراجع ۳

- [5] Meitian Huang et al. "Maximizing Throughput of Delay-Sensitive NFV-Enabled Request Admissions via Virtualized Network Function Placement". In: *IEEE Transactions on Cloud Computing* (2019), pp. 1–1. DOI: 10.1109/tcc.2019.2915835. URL: <https://doi.org/10.1109/tcc.2019.2915835>.
- [6] Wang Miao et al. "Stochastic Performance Analysis of Network Function Virtualization in Future Internet". In: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 37.3 (Mar. 2019), pp. 613–626. DOI: 10.1109/jsac.2019.2894304. URL: <https://doi.org/10.1109/jsac.2019.2894304>.

## مراجع ۴

- [7] Song Yang et al. "Delay-Sensitive and Availability-Aware Virtual Network Function Scheduling for NFV". In: *IEEE Transactions on Services Computing* (2019), pp. 1–1. DOI: 10.1109/tsc.2019.2927339. URL: <https://doi.org/10.1109/tsc.2019.2927339>.
- [8] Yunhao Tang, Shipra Agrawal, and Yuri Faenza. "Reinforcement Learning for Integer Programming: Learning to Cut". In: *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*. Ed. by Hal Daumé III and Aarti Singh. Vol. 119. Proceedings of Machine Learning Research. PMLR, 2020, pp. 9367–9376. URL: <http://proceedings.mlr.press/v119/tang20a.html>.

## مراجع ۵

- [9] Song Yang et al. "Recent Advances of Resource Allocation in Network Function Virtualization". In: *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 32.2 (Feb. 2021), pp. 295–314. DOI: 10.1109/tpds.2020.3017001. URL: <https://doi.org/10.1109/tpds.2020.3017001>.