

# مجازی‌سازی قطعی کارکردهای شبکه

---



دانشکده مهندسی  
کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پرهام الوانی

۳ 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
- سربار 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

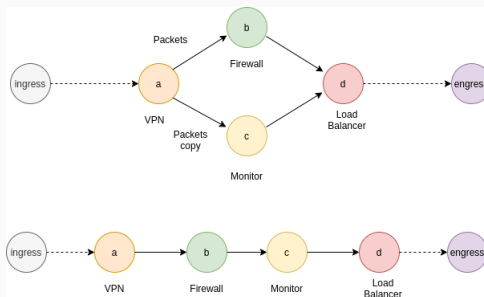
- اواخر سال ۲۰۱۲، ETSI NFV ISG توسط هفت اپراتور جهانی شبکه تأسیس شد.
- اکنون بیش از ۲۵۰ سازمان با آن همکاری می‌کنند.
- اجرای کارکردها بر روی سرورهای استاندارد با توان بالا به وسیله مجازی‌سازی کارکردها
- کاهش نیاز به تجهیزات سخت‌افزاری خاص منظوره
- اشتراک گذاری منابع بین کارکردها
- کاهش هزینه‌های تجهیزات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

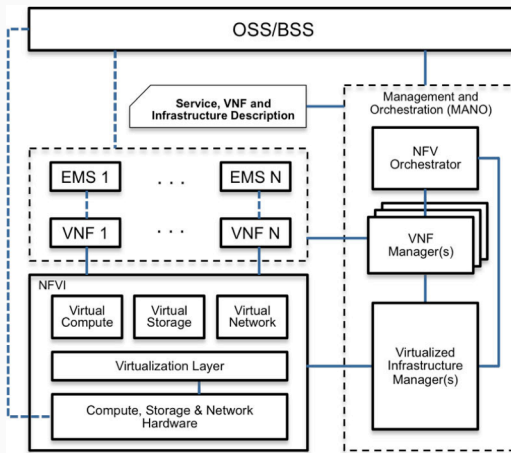
- ◀ زنجیره‌های مرتب تمام
- ◀ زنجیره‌های مرتب جزئی



## 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

- مساله‌ی 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 باتاخیر 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 بلادرنگ بسیار حساس به تاخیر و خرابی
  - Controller (HDMI)، Interface Multimedia High-Definition etc. bus)، (CAN Network Area
  - 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

## شبکه‌سازی حساس به زمان (Time Sensitive Networking)

- ◀ Flow Concept: A TSN flow (data link flow) is characterized by the QoS properties.
- ◀ Flow Synchronization: IEEE 802.1AS Time Synchronization for Time-Sensitive Applications
- ◀ Flow Management: Enables operators to dynamically discover, configure, monitor, and report bridge and end station capabilities.
- ◀ Flow Control: Specifies how frames belonging to a prescribed traffic class are handled within TSN enabled bridges.
- ◀ Flow Integrity: Deliver frames regardless of the dynamic network conditions, including physical breakage and link failures.



## شبکه‌سازی قطعی (Deterministic Networking)

- ◀ کارگروه IETF DetNet
- ◀ تمرکز بر لایه شبکه
- ◀ برای شبکه‌هایی با مدیریت مشترک یا تحت مدیریت گروه کوچک
- ◀ شبکه‌سازی قطعی نمونه‌ای از سرویس گارانتی‌شده IntServ می‌باشد.
- ◀ جریان‌های DetNet بر اساس کلاس‌های کیفیت سرویس مشخص می‌شوند.
- ◀ در نظر گرفتن جریان‌های DetNet در کنار جریان‌های non-DetNet اهداف
  - کران معین برای تاخیر
  - کران معین تغییرات تاخیر
  - کمترین میزان از دست رفتن بسته

# شبکه‌سازی قطعی (Deterministic Networking)

Norman Finn et al. *Deterministic Networking Architecture*. RFC 8655. Oct. 2019. DOI: 10.17487/RFC8655. URL: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc8655.txt>

## 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

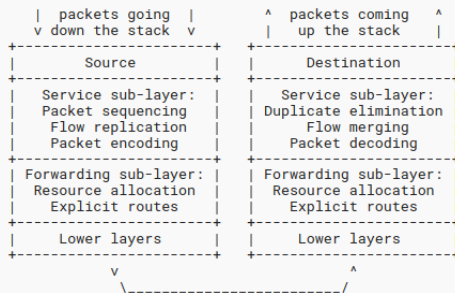
- بدست آوردن کیفیت سرویس با از بین بردن یا کاهش اثر از دست رفتن بسته‌ها در اثر ازدحام
- کاهش تغییرات تاخیر

### ◀ 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

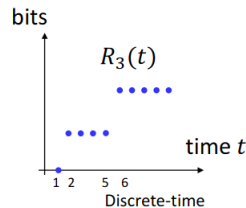
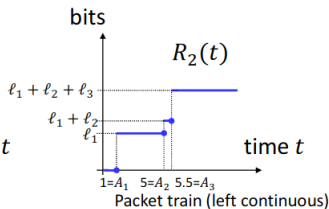
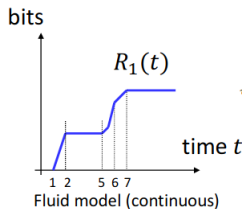


شکل ۳: معماری پشته شبکه‌های قطعی

# آشنایی با Network Calculus

## ◀ جریان‌های تجمعی

$$R(t), \text{ non-decreasing, } R(0) = 0$$

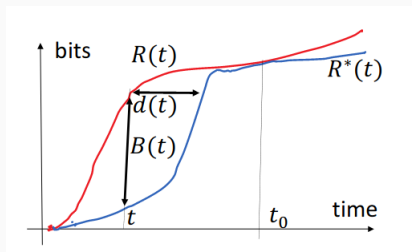


## شکل ۴: انواع جریان‌ها

# آشنایی با Network Calculus



شکل ۵: معماری سیستم



شکل ۶: جریان ورودی و خروجی

# آشنایی با Network Calculus

◀ اندازه بافر

$$\text{backlog}(t) = R(t) - R^*(t)$$

◀ تاخیر

$$d(t) = \inf\{d \mid R(t) \leq R^*(t + d)\}$$



# آشنایی با Network Calculus

◀  $(R \cup +\infty, \wedge, +)$

◀ 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

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

$$(f \otimes g)(t) = \inf_{0 \leq s \leq t} \{f(t-s) + g(s)\}$$

# 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  $b$ :

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

## آشنایی با Network Calculus

◀ منحنی ورودی برای یک سطل سوراخ دار

$$\alpha(t) = rt + b$$

## فهرست

۱ مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲ شبکه‌های قطعی

۳ مرور ادبیات

۴ مسالهی پیشنهادی

### ۳. مرور ادبیات

---

## ◀ مرور کارها از جهت پارامترهای کیفیت سرویس و چگونگی مدل‌سازی

## 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>



## مرجع [۸]

- ◀ 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 [۶]

- ◀ 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>

## [۴] مرجع

- ◀ 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>

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

---

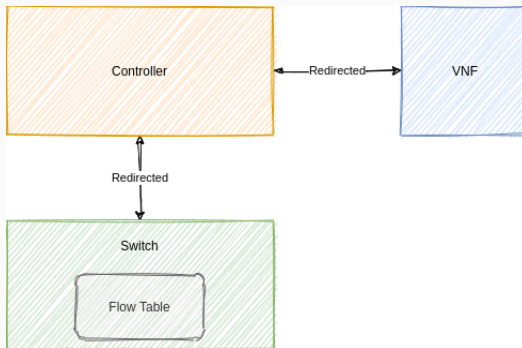
Wang Miao et al. "Stochastic Performance Analysis of Network Function Virtualization in Future Internet". In: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 37.3 (Mar. 2019), pp. 613–626. DOI: 10.1109/jsac.2019.2894304. URL: <https://doi.org/10.1109/jsac.2019.2894304>

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

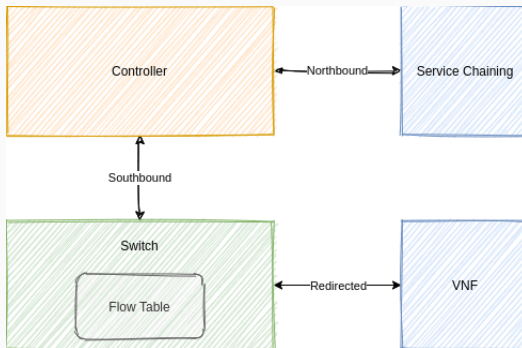
- Controller interacts with VNFs
- Switches interacts with VNFs

---

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 ۷: معماری SDN و NFV در کنار یکدیگر**



**شکل ۸: 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	#
✓	✓	—	—	✓	[۷]
—	—	✓	✓	—	[۱]
—	—	✓	—	—	[۳]
—	✓	—	✓	—	[۸]
—	✓	✓	—	—	[۶]
—	✓	✓	✓	✓	[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 قطعی زنجیره‌های کارکرد 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] Norman Finn et al. *Deterministic Networking Architecture*. RFC 8655. Oct. 2019. DOI: 10.17487/RFC8655. URL: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc8655.txt>.
- [6] 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>.

## مراجع ۴

- [7] 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>.
- [8] 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>.

## مراجع ۵

- [9] 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>.

- [10] 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>.