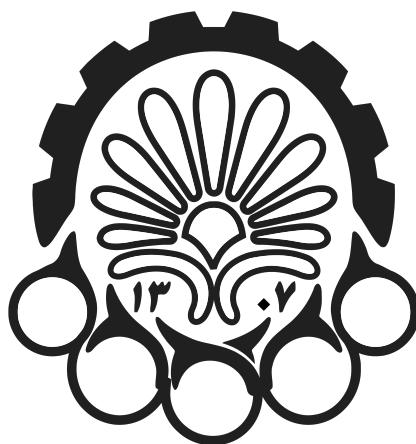


معماری افزاره‌های شبکه دکتر صبا ئی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

رضا آدینه پور ۴۰۲۱۳۱۰۵۵

تمرین سری ششم

۱ دی ۱۴۰۳

سوال اول

یک سوئیچ Shared Memory که قرار است به لینک‌های ATM با ظرفیت 125 Mbps متصل شود و از حافظه‌های با زمان دسترسی 16 ns استفاده نماید، حداکثر چند پورت می‌تواند داشته باشد؟

پاسخ

$$t_{\text{mem}} = 16 \text{ ns}, \quad L = 53 \text{ byte} = 424 \text{ bit}$$

$$r = 125 \text{ Mbps}$$

در حافظه‌های shared memory، N نوشتن در حافظه و N خواندن از حافظه در یک Cell Slot انجام می‌شود. بنابراین داریم:

$$(2N) \cdot t_{\text{mem}} \leq \frac{L}{r} \rightarrow N \leq \frac{L}{2r \cdot t_{\text{mem}}}$$

بنابراین:

$$N \leq \frac{424}{2 \times 125 \times 10^6 \times 16 \times 10^{-9}} \rightarrow N \leq 106$$

سوال دوم

در یک سوئیچ Division-Time زمان دسترسی به حافظه 5 ns است. طول بسته‌های ورودی 200 بایت است و خطوط ورودی همگی 5 Gbps هستند. در هر یک از موارد زیر بیشترین تعداد خطوط ورودی به این سوئیچ را مشخص کنید:

- Shared-Memory Switch
- Shared Medium Switch

پاسخ

$$t_{\text{mem}} = 5 \text{ ns}$$

$$L = 200 \times 8 = 1600 \text{ bit}$$

$$r = 5 \times 10^9 \text{ bps}$$

Shared Medium:

$$(N + 1)t_{\text{mem}} \leq \frac{L}{r} \Rightarrow N + 1 < \frac{1600}{5 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-9}}$$

$$N + 1 \leq 64 \Rightarrow N \leq 63$$

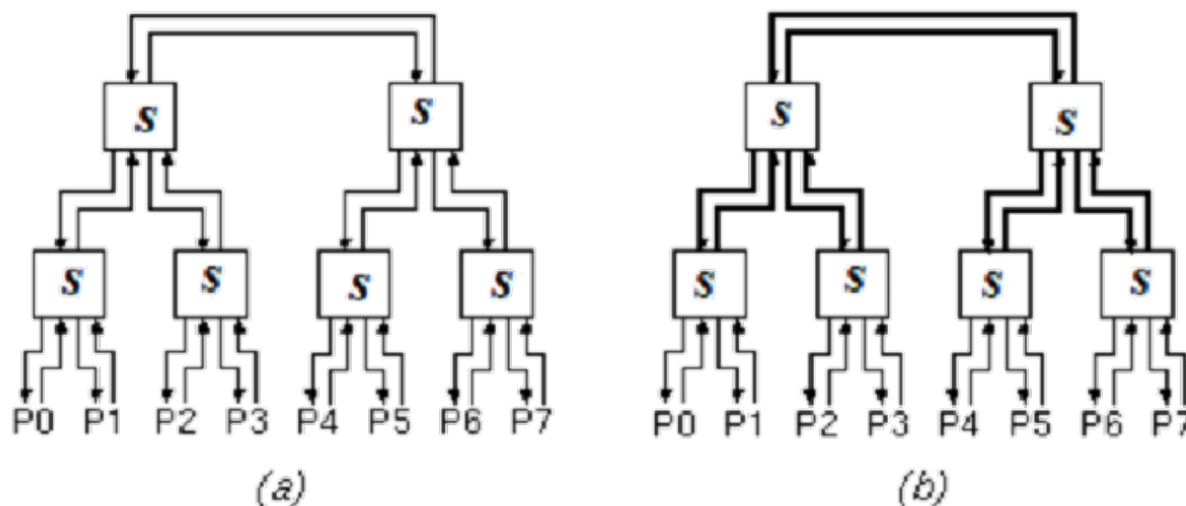
Shared Memory:

$$(2N)t_{\text{mem}} \leq \frac{L}{r} \Rightarrow N \leq \frac{1600}{2 \times 5 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-9}}$$

$$N \leq 32$$

سوال سوم

در شکل زیر یک سوئیچ 8×8 را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است این سوئیچ دارای ساختاری درختی است. تمام لینک‌ها در هر شکل a ظرفیت عبور تنها یک بسته در هر برش زمانی را دارند.



شکل ۱: ساختار سوئیچ سوال سوم

۱. الگوی ترافیکی را مثال بزنید که تمام پورت‌های ورودی و خروجی اشغال باشند اما سوئیچ دچار Blocking نمی‌شود (فرض کنید الگویی که هر پورت ورودی به پورت خروجی هم‌نام خودش $p(in)$ به $p(out)$ وصل شده باشد امکان‌پذیر نباشد).

پاسخ

- (a) $P_1(out)$ and $P_0(in)$
- (b) $P_3(out)$ and $P_2(in)$
- (c) $P_5(out)$ and $P_4(in)$
- (d) $P_7(out)$ and $P_6(in)$

۲. الگوی ترافیکی را مثال بزنید که نشان دهد در شکل a سوئیچ دچار Internal Blocking می‌شود.

پاسخ

برای مثال اگر P_0 پورت ورودی و P_4 پورت خروجی باشد، با وجود اینکه پورت ورودی P_1 آزاد است و به غیر از P_4 تمام پورت‌های خروجی نیز آزاد هستند، به علت internal blocking از P_1 به هیچ‌یک از پورت‌های P_2, P_3, P_5, P_6, P_7 نمی‌توان بسته فرستاد.

۳. اگر در شکل b فرض کنیم خطوط پررنگ تر ظرفیت ارسال ۲ بسته در یک برش زمانی را دارند. آیا این تغییر سوئیچ شکل b دچار Internal Blocking نمی‌شود؟

پاسخ

بله، برای مثال دو انتقال زیر را در نظر بگیرید.

- ورودی P_0 و خروجی P_4

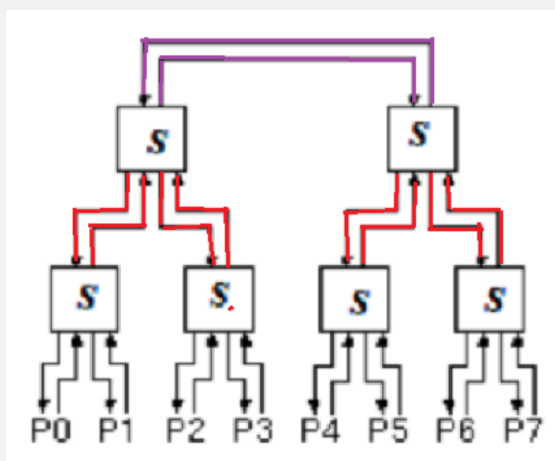
- ورودی P_1 و خروجی P_5

در این صورت، به دلیل internal blocking با وجود آزاد بودن پورت ورودی P_2 و پورت خروجی P_6 امکان انتقال بسته از P_2 به P_6 وجود ندارد، زیرا نیاز دارد از بالاترین خط همزمان ۳ بسته در یک برش زمانی ارسال شود که بیش از ظرفیت لینک (دو بسته) است.

۴. کمترین ظرفیتی که می‌توان به سوئیچ قسمت a اضافه کرد که سوئیچ دچار Internal Blocking نشود چیست؟

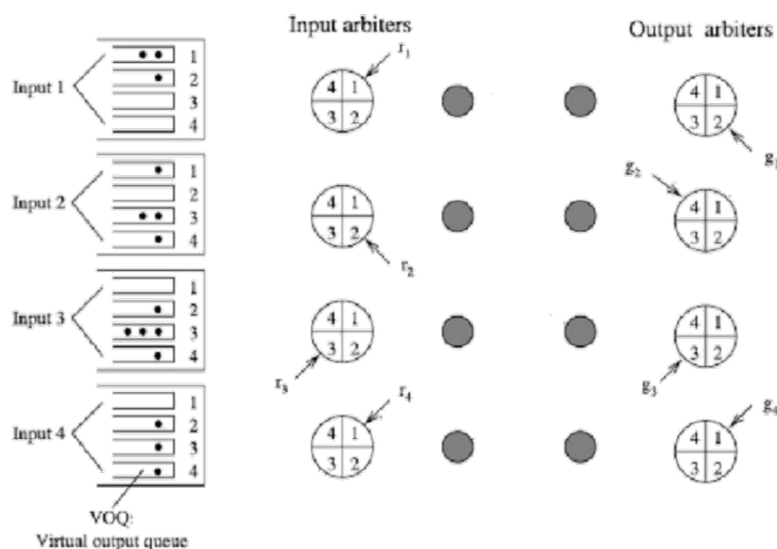
پاسخ

اگر ظرفیت لینک‌های قرمز ۲ بسته در یک برش زمانی و ظرفیت لینک‌های بنفش ۴ بسته در یک برش زمانی باشد، internal blocking رخ نخواهد داد.



سوال چهارم

الگوریتم DRRM را بر روی شکل زیر اعمال کنید. این الگوریتم را تا دو مرحله اجرا کنید. هر مرحله شامل دو Iteration است.



شکل ۲: شکل مورد نظر

پاسخ

Phase 1 - Iteration 1

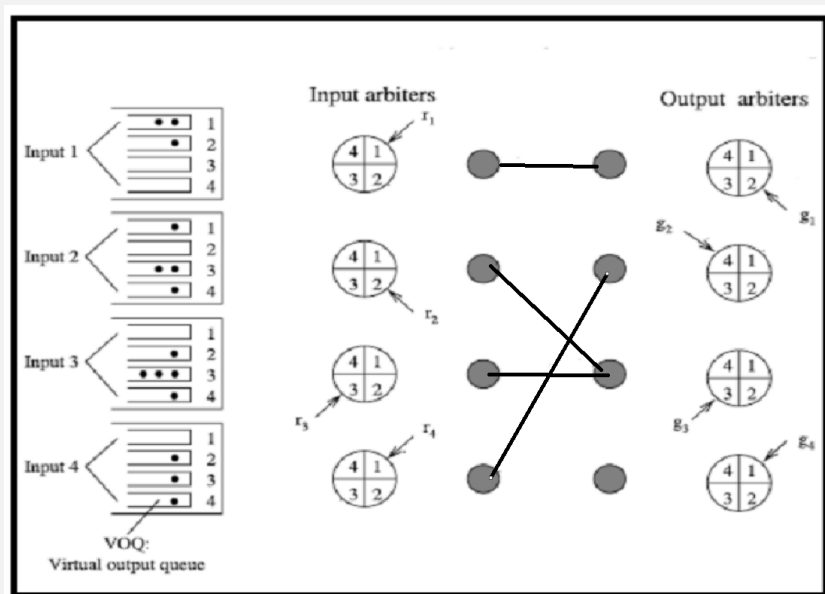


Figure 3: Step 1

پاسخ

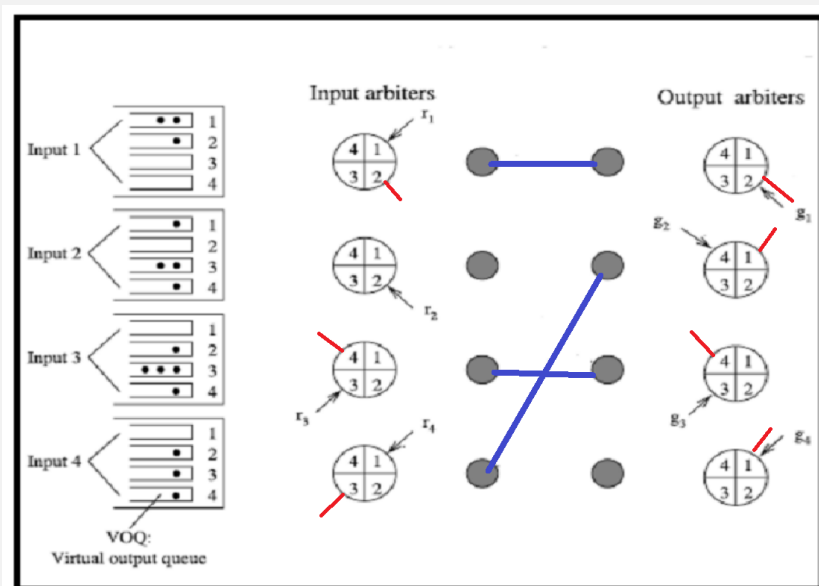


Figure 4: Step 2

Phase 1 - Iteration 2

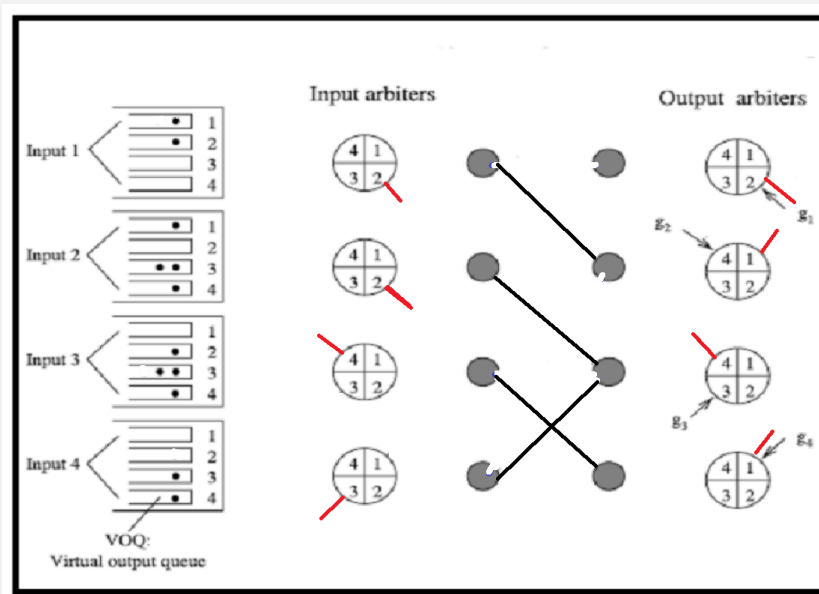


Figure 5: Step 1

پاسخ

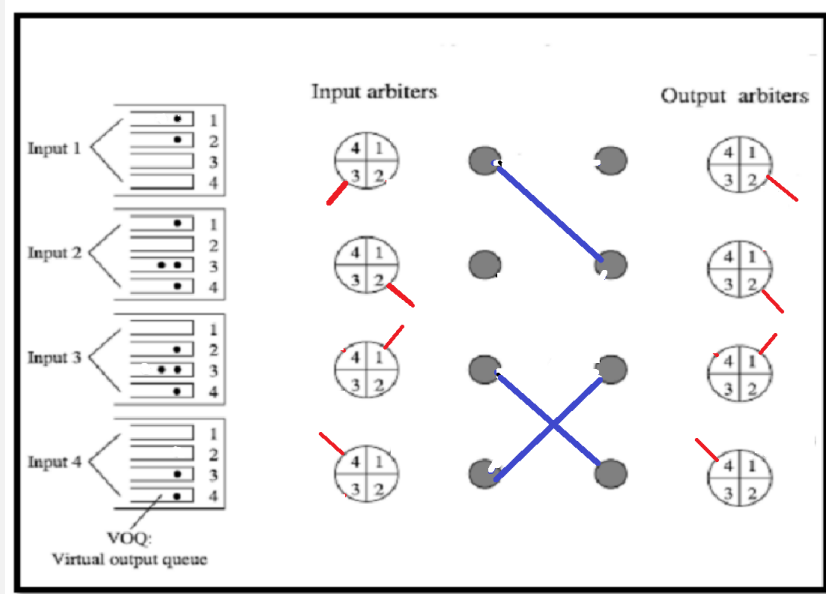


Figure 6: Step 2

Phase 2 - Iteration 1

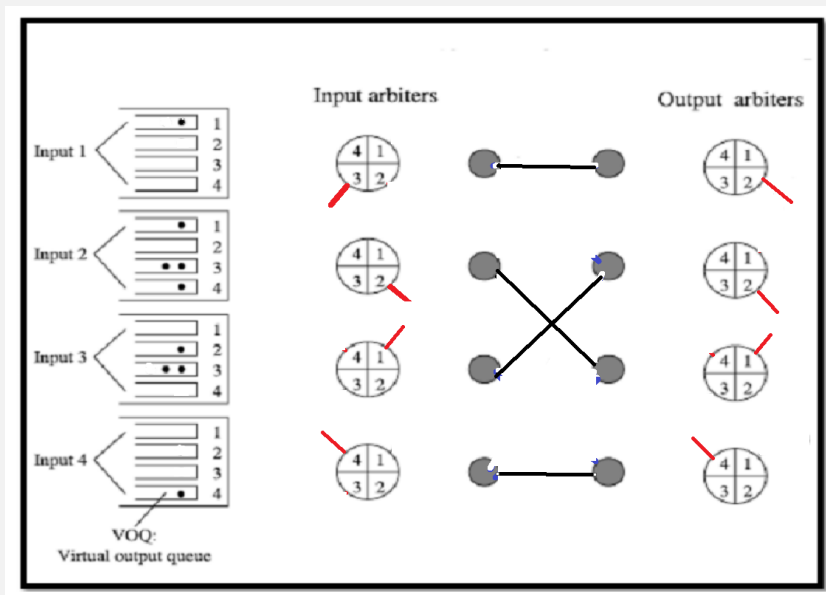


Figure 7: Step 1

پاسخ

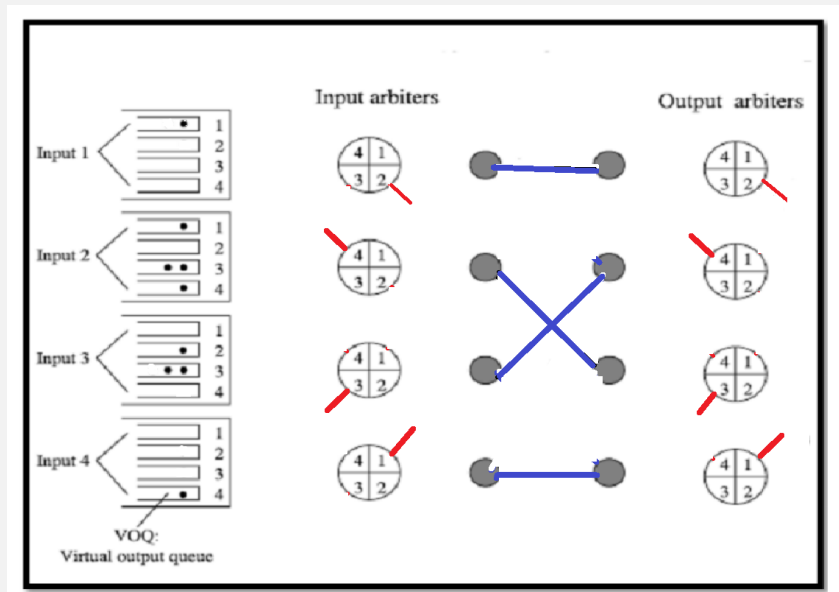


Figure 8: Step 2

Phase 2 - Iteration 2

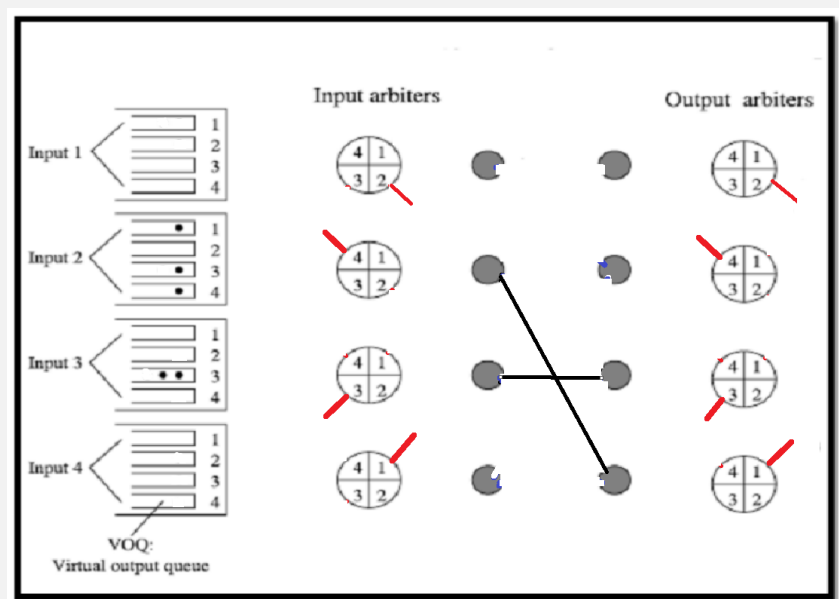


Figure 9: Step 1

پاسخ

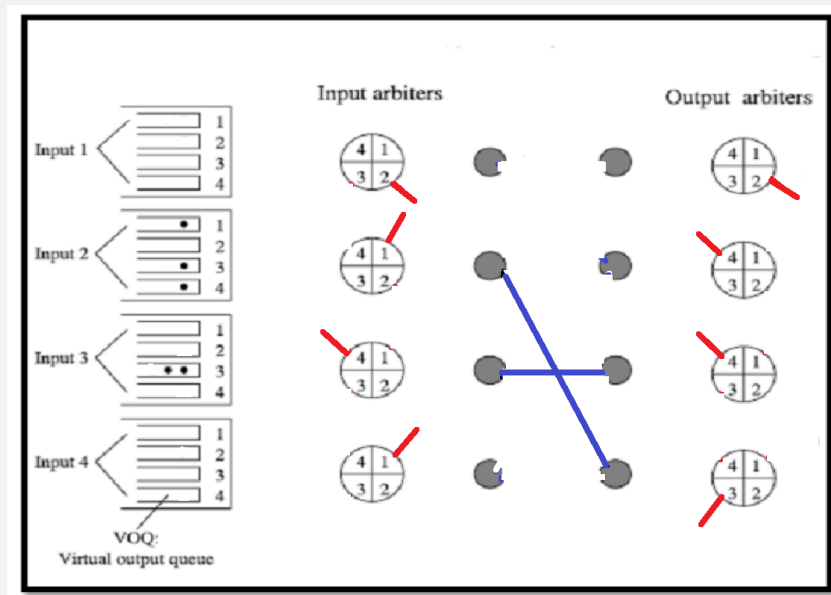
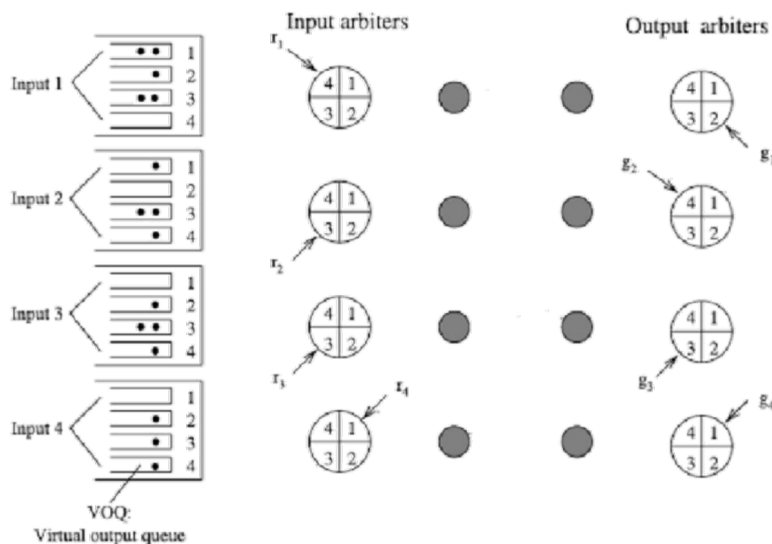


Figure 10: Step 2

سوال پنجم

الگوریتم EDRRM را بر روی شکل زیر اعمال کنید. این الگوریتم را تا دو مرحله اجرا کنید. هر مرحله شامل یک Iteration است.



شکل ۱۱: شکل مورد نظر

پاسخ

Phase 1 - Iteration 1

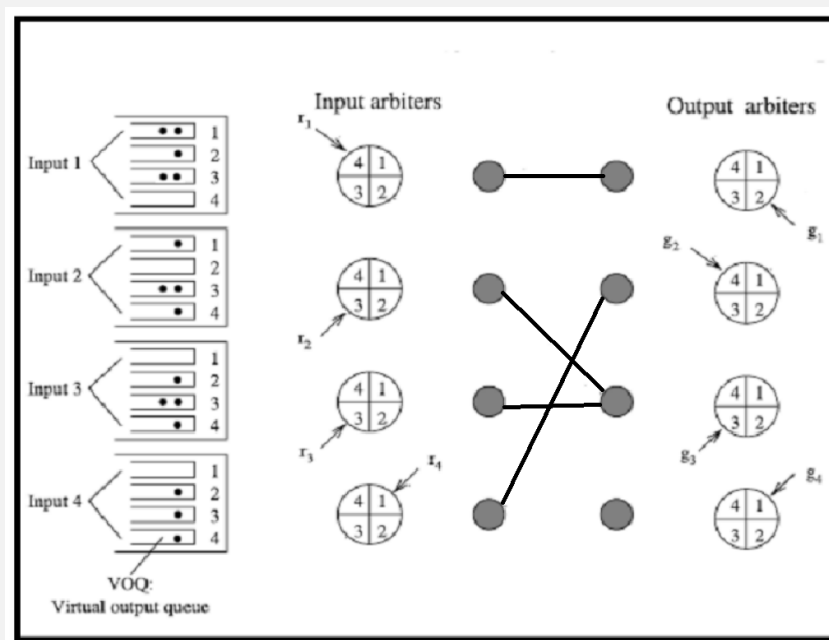


Figure 12: Step 1

پاسخ

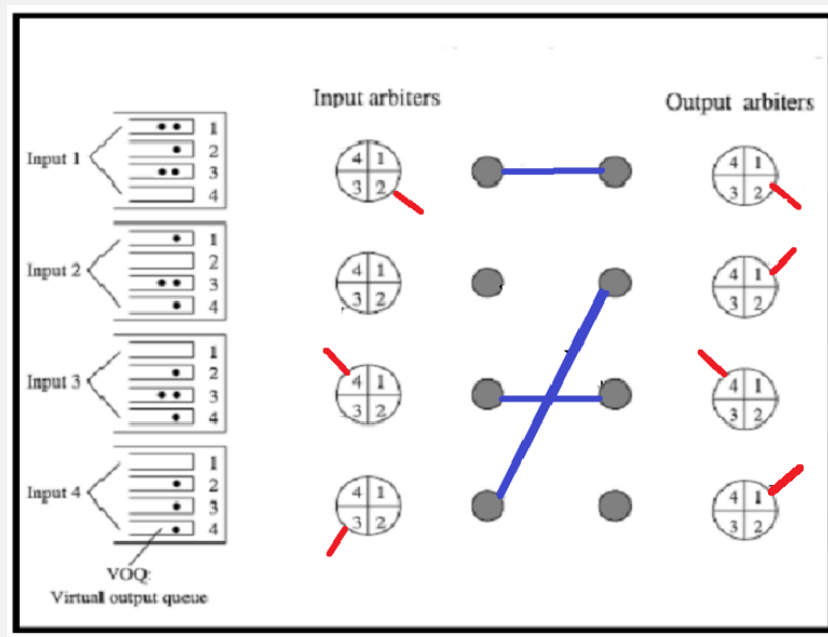


Figure 13: Step 2

Phase 1 - Iteration 2

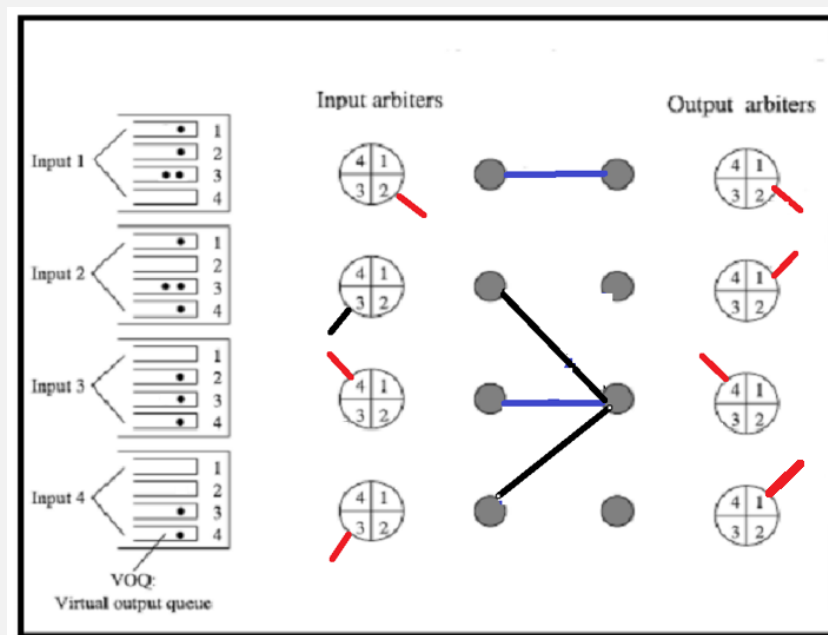


Figure 14: Step 1

پاسخ

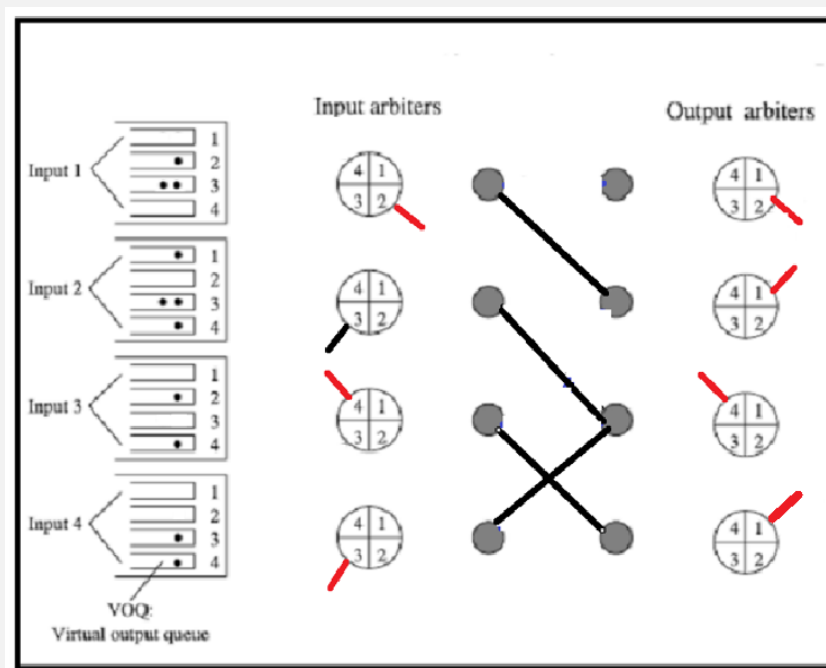


Figure 15: Step 2

Phase 2 - Iteration 1

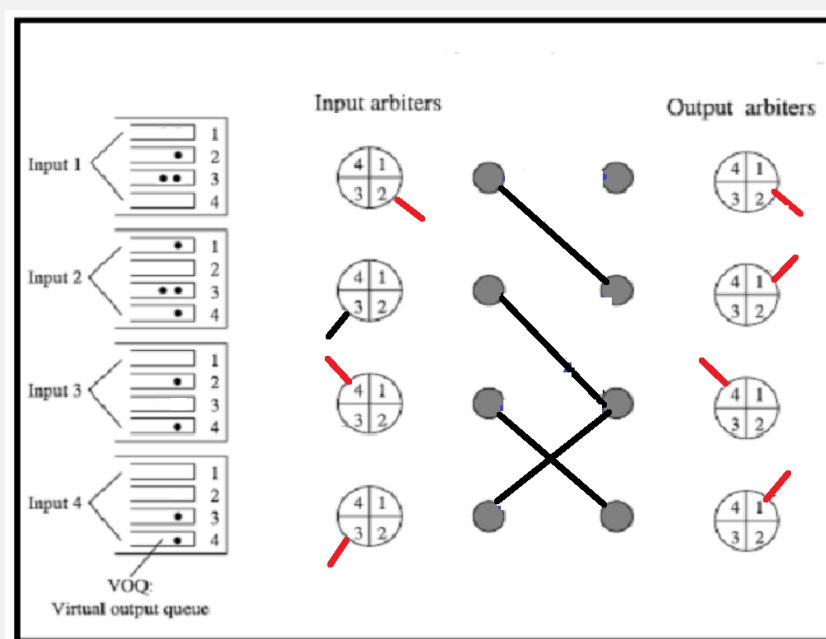


Figure 16: Step 1

پاسخ

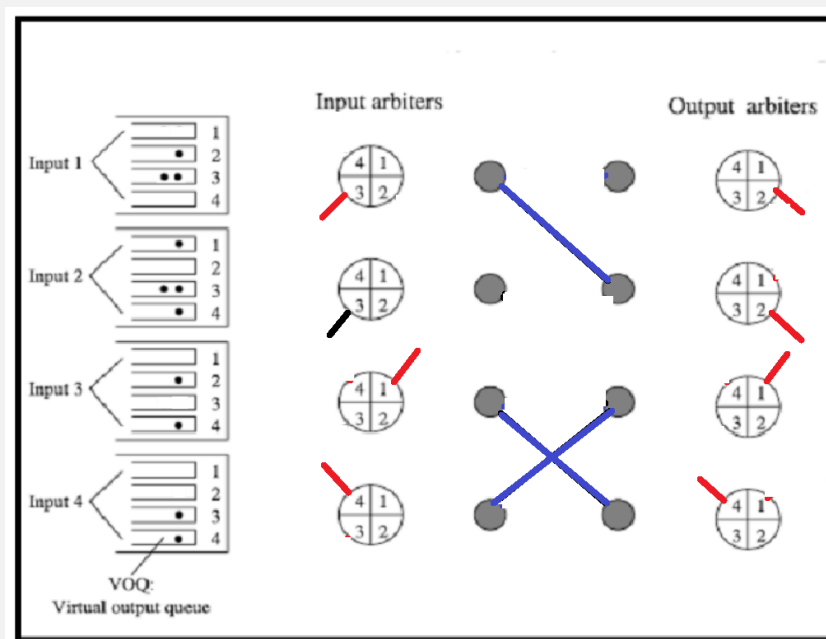


Figure 17: Step 2

Phase 2 - Iteration 1

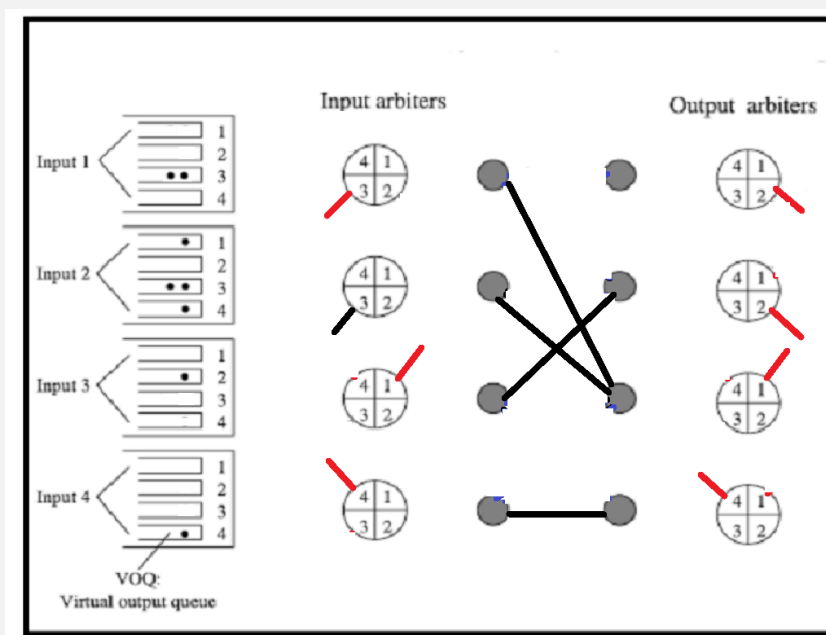


Figure 18: Step 1

پاسخ

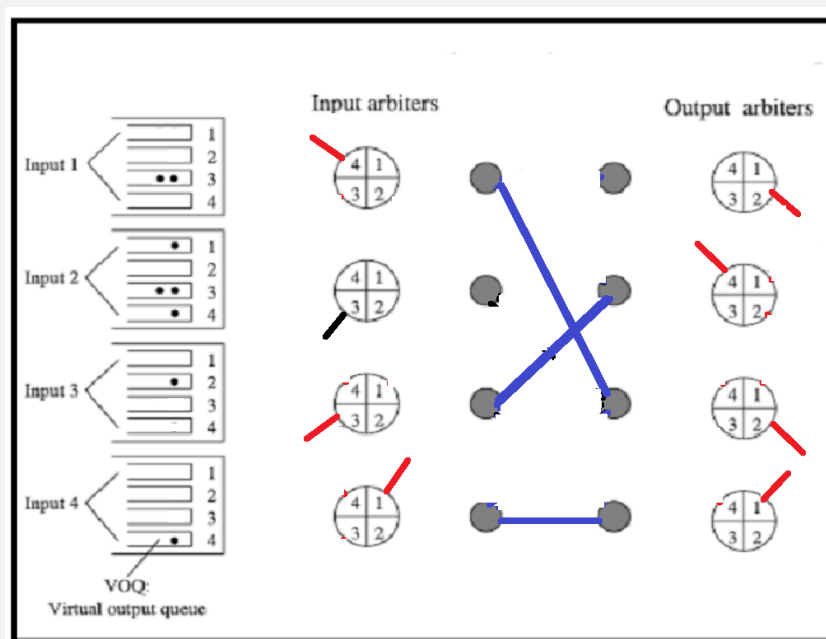


Figure 19: Step 2

Phase 2 - Iteration 1

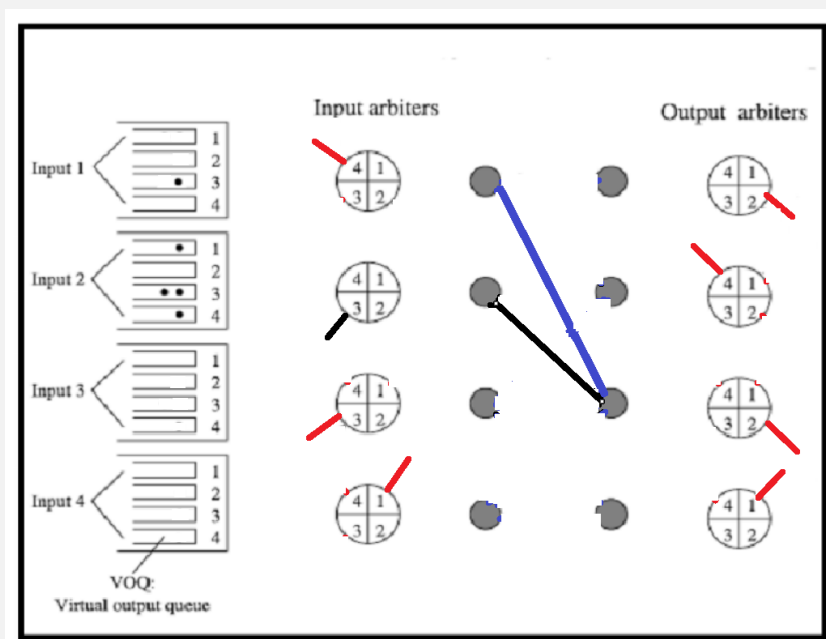


Figure 20: Step 1

پاسخ

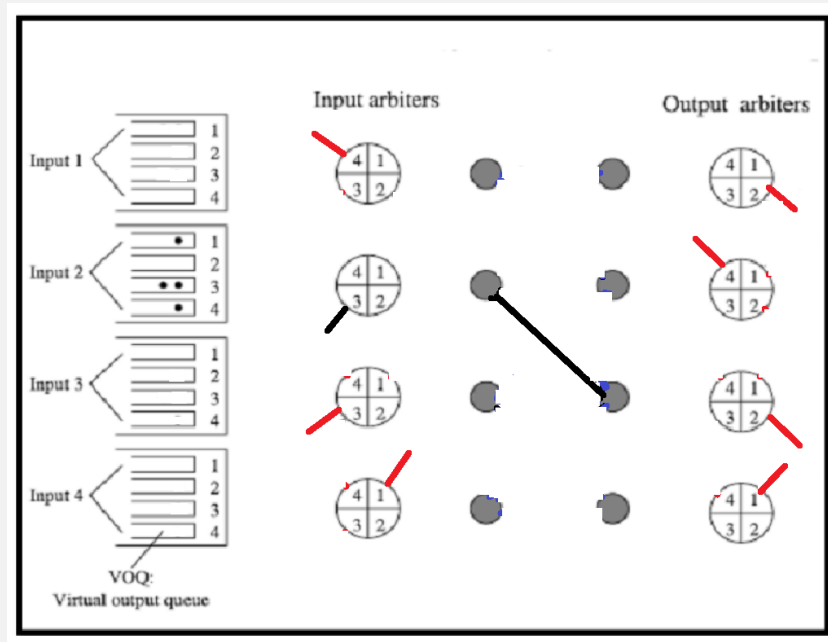


Figure 21: Step 2

سوال ششم

- (الف) مزایا و معایب سوئیچ‌های Banyan را شرح دهید.

پاسخ

۱. مزایا:

- کارایی بالا: Banyan به دلیل طراحی چندمرحله‌ای، تأخیر کمتری نسبت به سوئیچ‌های تک‌مرحله‌ای دارد.
- پیاده‌سازی ساده: معماری ساده‌ای داشته و نیاز به اجزای پیچیده ندارد.
- قابلیت مقیاس‌پذیری: امکان گسترش اندازه سوئیچ با اضافه کردن مراحل یا گره‌ها وجود دارد.
- حداقل مسیریابی: ساختار مرتب‌شده‌ای دارد که مسیریابی را آسان و با حداقل تأخیر ممکن می‌سازد.

۲. معایب:

- بلاک شدن داخلی (Internal Blocking): اگر چند بسته بخواهند از یک لینک مشترک استفاده کنند، ممکن است بلاک شدن رخ دهد.
- عدم تحمل خطا: خرابی یک گره یا لینک می‌تواند کل سیستم را مختل کند.
- الگوهای ترافیکی محدود: الگوهای خاص ترافیک ممکن است بهره‌وری و عملکرد را کاهش دهند.
- پیچیدگی در کنترل ترافیک: برای جلوگیری از بلاک شدن داخلی، به کنترل‌کننده‌های پیچیده نیاز است.

- (ب) یک سوئیچ Banyan 16×16 رسم کنید که شامل Shuffle و Unshuffled باشد.

پاسخ

سوئیچ Banyan با اندازه 16×16 شامل چهار مرحله است زیرا $16 = 4^2$ و هر مرحله از سوئیچ‌های 2×2 تشکیل شده است.

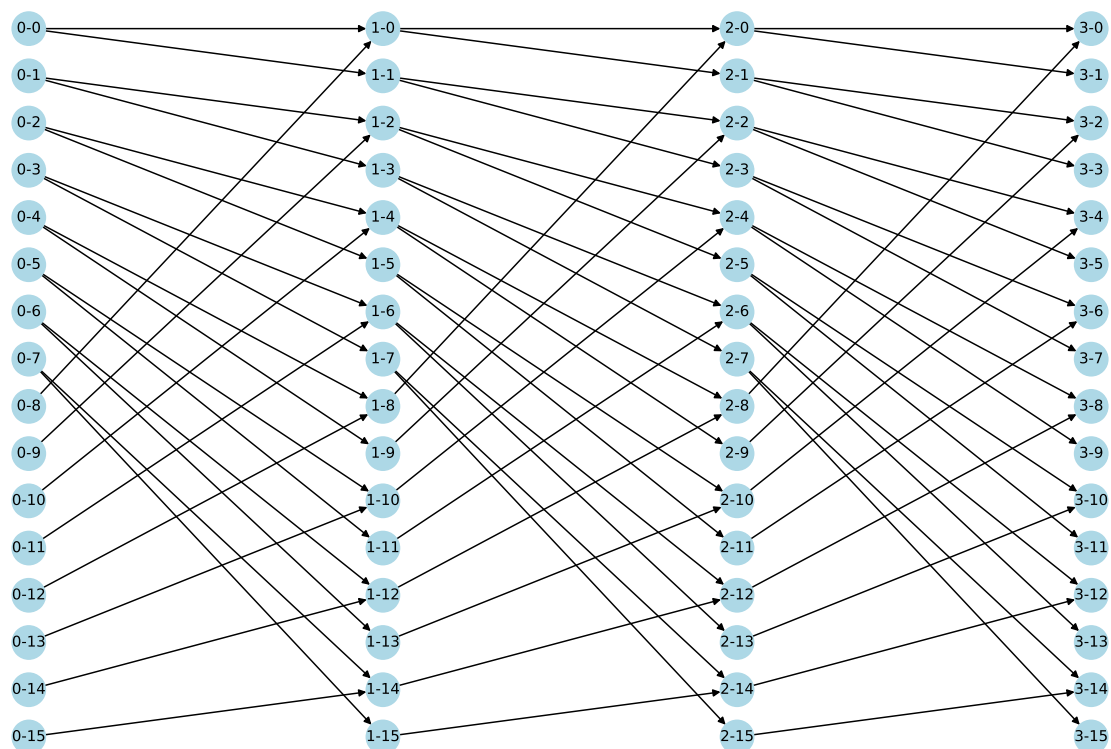
۱. تعداد مراحل برابر با $\log_2(16) = 4$ است.

۲. در هر مرحله، ۸ سوئیچ 2×2 مورد نیاز است.

۳. اتصالات Shuffle و Unshuffle به این صورت انجام می‌شود:

- Shuffle: خروجی i به ورودی $(i \times 2) \bmod 16$ وصل می‌شود.

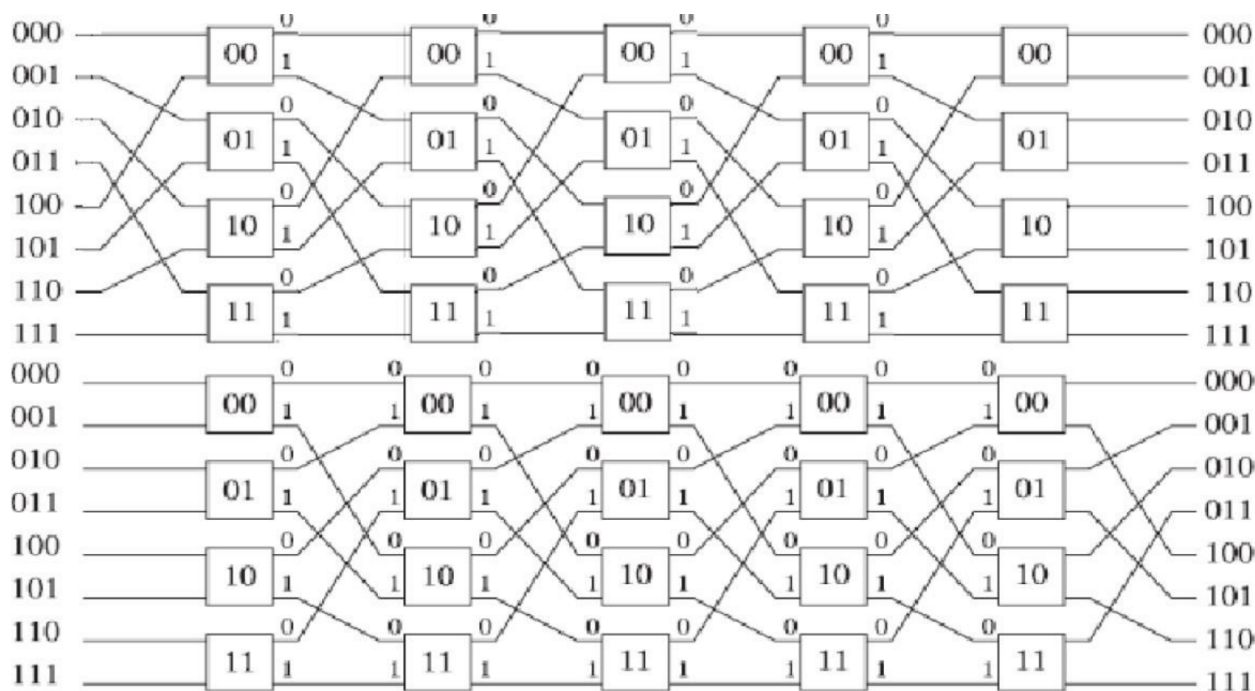
- Unshuffle: خروجی i به ورودی $(i/2)$ یا $i/2 + 8$ (برای اندیس‌های فرد) متصل می‌شود.



سوال هفتم

به ازای حالت‌های زیر نحوه خروج بسته‌ها از سوئیچ را مشخص کنید.

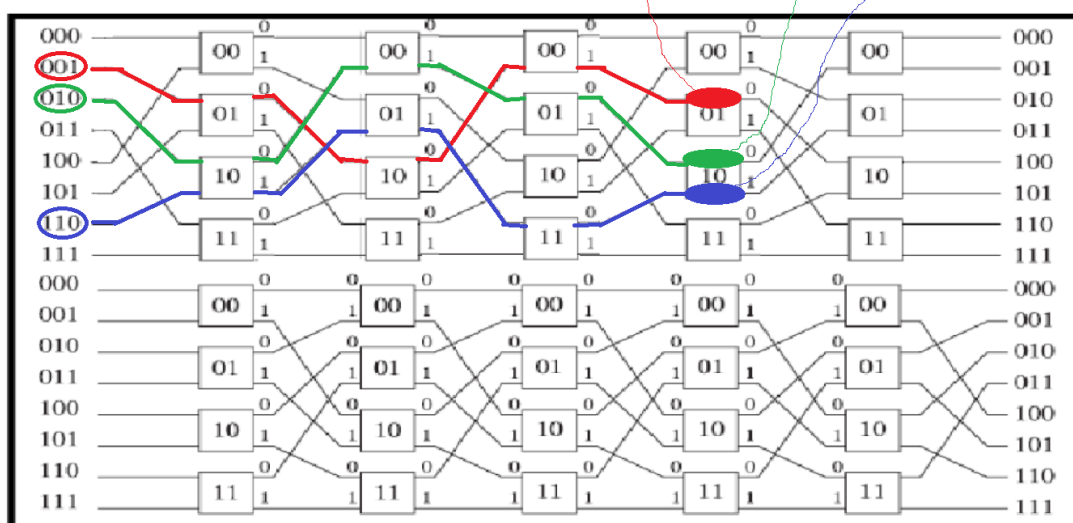
- A) $001 \rightarrow 000, 100 \rightarrow 001$
 B) $110 \rightarrow 110, 100 \rightarrow 111$
 C) $010 \rightarrow 011, 110 \rightarrow 001$



شکل ۲۲: شکل مورد نظر

پاسخ

- A) $001 \rightarrow 000, 100 \rightarrow 001$
 B) $110 \rightarrow 110, 100 \rightarrow 111$
 C) $010 \rightarrow 011, 110 \rightarrow 001$



سوال هشتم

اجزای یک سوئیچ OpenFlow نسخه 5.1 را نشان دهید و هر کدام را شرح دهید.

پاسخ

۱. **Flow Table (جدول جریان):** این جدول، قوانین مربوط به جریان‌ها را ذخیره کرده و تصمیم‌گیری‌های لازم برای بسته‌های ورودی را انجام می‌دهد.

- **Match Fields:** فیلدهای تطبیق مانند آدرس IP و شماره پورت.
- **Actions:** اقداماتی مانند ارسال به پورت مشخص یا حذف بسته.
- **Counters:** شمارنده‌هایی برای ثبت تعداد و حجم بسته‌های پردازش‌شده.

۲. **Group Table (جدول گروه):** برای انجام عملیات پیشرفته‌تر مانند Multicast یا Load Balancing.

- تعریف گروه‌هایی از اقدامات.
- ارسال بسته به چندین مقصد به صورت همزمان.

۳. **Meter Table (جدول اندازه‌گیری):** مدیریت پهنای باند و اعمال سیاست‌های QoS.

- اندازه‌گیری نرخ جریان داده.
- اولویت‌بندی جریان‌ها.

۴. **Packet Buffer (بافر بسته):** ذخیره موقت بسته‌هایی که در انتظار پردازش یا ارسال به کنترل‌کننده هستند.

۵. **OpenFlow Channel (کانال ارتباطی):** ارتباط بین سوئیچ و کنترل‌کننده SDN.

- ارسال و دریافت پیام‌های کنترل.
- تضمین ارتباط امن.

۶. **Pipeline (پایپ‌لاین):** مجموعه‌ای از جدول‌های جریان که به صورت متوالی پردازش می‌شوند.

۷. **Statistics Collection (جمع‌آوری آمار):** جمع‌آوری آمار مربوط به جریان‌ها، پورت‌ها و پهنای باند.

۸. **Secure Channel (کانال امن):** ارتباط امن بین کنترل‌کننده و سوئیچ با استفاده از رمزنگاری.

سوال نهم

معیارهای ارزیابی سوئیچ‌های کنونی و سوئیچ‌های نسل جدید SDN را با هم مقایسه کنید.

پاسخ

۱. معماری سوئیچینگ

- سوئیچ‌های سنتی: از معماری سخت‌افزاری ثابت و اختصاصی استفاده می‌کنند. تصمیم‌گیری‌ها در سطح سوئیچ و توسط سخت‌افزارهای داخلی انجام می‌شود. انعطاف‌پذیری کمی دارند.
- سوئیچ‌های SDN: دارای معماری نرم‌افزارمحور هستند. تصمیم‌گیری‌ها توسط کنترل‌کننده مرکزی انجام می‌شود. انعطاف‌پذیری بسیار بالایی دارند، چرا که قوانین و سیاست‌ها به‌صورت داینامیک توسط نرم‌افزار تنظیم می‌شوند.

۲. مدیریت و کنترل

- سوئیچ‌های سنتی: مدیریت و کنترل به‌صورت توزیع‌شده انجام می‌شود. نیازمند پیکربندی دستی و زمان‌بر هستند. تغییرات در مقیاس بزرگ دشوار است.
- سوئیچ‌های SDN: مدیریت و کنترل از طریق کنترل‌کننده مرکزی انجام می‌شود. پیکربندی به‌صورت خودکار و از طریق رابط‌های برنامه‌نویسی (API) صورت می‌گیرد. تغییرات و بروزرسانی‌ها سریع و کارآمد است.

۳. عملکرد و مقیاس‌پذیری

- سوئیچ‌های سنتی: عملکرد به سخت‌افزار وابسته است. برای مدیریت ترافیک بالا نیازمند سخت‌افزارهای گران‌قیمت هستند. مقیاس‌پذیری محدود است.
- سوئیچ‌های SDN: امکان مدیریت ترافیک بهینه از طریق نرم‌افزار وجود دارد. مقیاس‌پذیری بالا به دلیل کنترل مرکزی. نیاز به سخت‌افزارهای پیچیده کمتری دارند.

۴. انعطاف‌پذیری و قابلیت برنامه‌ریزی

- سوئیچ‌های سنتی: قوانین و سیاست‌ها ثابت و سخت‌افزاری هستند. برنامه‌ریزی و تغییرات محدود است.
- سوئیچ‌های SDN: بسیار انعطاف‌پذیر و قابل برنامه‌ریزی از طریق نرم‌افزار. امکان تعریف و اجرای قوانین جدید بدون تغییر در سخت‌افزار.

۵. امنیت

- سوئیچ‌های سنتی: امنیت به‌صورت محلی و در سطح هر سوئیچ مدیریت می‌شود. آسیب‌پذیری بیشتر در برابر حملات پیچیده.
- سوئیچ‌های SDN: امنیت به‌صورت متمرکز و توسط کنترل‌کننده مدیریت می‌شود. قابلیت به‌روزرسانی سریع قوانین امنیتی.

پاسخ

۶. هزینه

- سوئیچ‌های سنتی: هزینه بالای سخت‌افزار. هزینه‌های عملیاتی و نگهداری بیشتر.
- سوئیچ‌های SDN: کاهش هزینه به دلیل استفاده از سخت‌افزارهای عمومی (Commodity Hardware). کاهش هزینه‌های عملیاتی با مدیریت ساده‌تر.

۷. جمع‌آوری و تحلیل داده

- سوئیچ‌های سنتی: جمع‌آوری داده‌ها محدود و زمان‌بر است. تحلیل داده‌ها نیازمند ابزارهای جداگانه است.
- سوئیچ‌های SDN: جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت متمرکز و در زمان واقعی انجام می‌شود. تحلیل داده‌ها ساده‌تر و کارآمدتر است.

سوال دهم

معماری سوئیچ‌های نسل جدید Huawei و Intel را بررسی کرده و نوع پیاده‌سازی و ویژگی‌های سوئیچ‌های OpenFlow مانند عملیات Pipelining را شرح دهید.

پاسخ

۱. معماری سوئیچ‌های نسل جدید Huawei:

- معماری سخت‌افزار-محور و نرم‌افزار-محور: سوئیچ‌های نسل جدید Huawei ترکیبی از معماری سخت‌افزار-محور و نرم‌افزار-محور را ارائه می‌دهند. از تراشه‌های پردازش سریع برای عملیات Data Plane و از کنترل‌کننده‌های نرم‌افزاری برای مدیریت و کنترل استفاده می‌شود.
- پشتیبانی از OpenFlow: سوئیچ‌های Huawei از پروتکل OpenFlow پشتیبانی کرده و قابلیت پیاده‌سازی جریان‌های پیچیده را دارند.
- ویژگی‌های کلیدی:

- پشتیبانی از SDN: قابلیت برنامه‌ریزی شبکه و مدیریت مرکزی.
- عملیات موازی: استفاده از معماری پیشرفته برای پردازش چندین جریان به صورت موازی.
- کیفیت خدمات (QoS): پشتیبانی از سیاست‌های پیشرفته QoS برای کنترل ترافیک شبکه.
- امنیت: استفاده از مازول‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای جلوگیری از حملات سایبری.

۲. معماری سوئیچ‌های نسل جدید Intel:

- معماری سخت‌افزار عمومی (Commodity Hardware): سوئیچ‌های Intel اغلب از پردازنده‌های FPGA و ASIC برای عملیات سریع شبکه استفاده می‌کنند. این معماری انعطاف‌پذیر بوده و برای اجرای برنامه‌های SDN بهینه‌سازی شده است.
- پشتیبانی از P4: سوئیچ‌های Intel از زبان برنامه‌نویسی P4 برای تعریف رفتار سوئیچ استفاده می‌کنند. این قابلیت به توسعه‌دهندگان امکان می‌دهد تا عملیات سفارشی در Data Plane را پیاده‌سازی کنند.
- ویژگی‌های کلیدی:

- پشتیبانی از OpenFlow و P4: امکان استفاده از هر دو برای توسعه شبکه‌های انعطاف‌پذیر.
- عملیات کم‌تأخیر: طراحی شده برای تأخیر بسیار پایین.
- پشتیبانی از آنالیز داده: جمع‌آوری و پردازش داده‌ها به صورت بلادرنگ برای بهینه‌سازی شبکه.

۳. ویژگی‌های OpenFlow مانند عملیات Pipelining:

• عملیات Pipelining:

- تعریف: عملیات Pipelining در OpenFlow به معنای پردازش بسته‌ها به صورت مرحله‌ای از طریق مجموعه‌ای از جدول‌های جریان (Flow Tables) است. بسته‌ها در هر مرحله پردازش شده و تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها انجام می‌شود.
- نحوه عملکرد:

- * بسته وارد اولین جدول جریان (Flow Table) می‌شود.
- * اگر قانون تطابق پیدا کند، عملیات مشخص شده روی بسته اجرا می‌شود.
- * بسته به جدول بعدی منتقل می‌شود (در صورت نیاز) تا پردازش بیشتری انجام شود.
- * در نهایت، بسته به مقصد نهایی ارسال می‌شود یا حذف می‌گردد.

پاسخ

- مزایا: پردازش مرحله‌ای و ماژولار. امکان تعریف قوانین پیچیده و چندلایه. بهینه‌سازی پردازش بسته‌ها در شبکه.

پشتیبانی از Group Table:

• تعریف: جدول گروه برای تعریف اقدامات پیچیده‌تر مانند مسیریابی چندبخشی (Multicast) یا توزیع بار (Load Balancing) استفاده می‌شود.

- ویژگی‌ها: امکان ارسال بسته به چندین پورت. مدیریت بهتر منابع شبکه.

• پشتیبانی از Meter Table:

- تعریف: این جدول برای مدیریت پهنای باند و سیاست‌های QoS استفاده می‌شود.

- عملکرد: اندازه‌گیری نرخ ارسال بسته‌ها. اعمال محدودیت یا اولویت‌بندی بسته‌ها بر اساس سیاست‌های تعریف‌شده.

سوال یازدهم

معماری سوئیچ‌های مبتنی بر چارچوب ForCES را بررسی کنید و ویژگی‌های این چارچوب را شرح دهید.

پاسخ

۱. عناصر کنترلی (Control Elements - CEs):

- مسئول تصمیم‌گیری در مورد مسیره‌ی، سیاست‌ها، و مدیریت جریان‌ها هستند.
- کنترل‌کننده‌ها با ارسال دستورات به عناصر فورواردینگ عملیات شبکه را تنظیم می‌کنند.

۲. عناصر فورواردینگ (Forwarding Elements - FEs):

- مسئول ارسال بسته‌ها طبق قوانینی هستند که از عناصر کنترلی دریافت می‌کنند.
- از عناصر سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری تشکیل شده و بسته‌ها را با توجه به جداول فورواردینگ پردازش می‌کنند.

۳. پروتکل ارتباطی ForCES:

- پروتکل استاندارد برای ارتباط بین CEs و FEs.
- این پروتکل وظیفه انتقال اطلاعات کنترل، تنظیمات، و وضعیت شبکه را برعهده دارد.

۴. مدل داده ForCES:

- تعریف ساختار و فرمت داده‌هایی که بین عناصر کنترلی و فورواردینگ تبادل می‌شوند.
- مدل داده قابل برنامه‌ریزی است و امکان توسعه آسان را فراهم می‌کند.

ویژگی‌های چارچوب ForCES:

۱. جداسازی کنترلی و فورواردینگ:

- چارچوب ForCES ارتباط مستقلی بین عناصر کنترلی و فورواردینگ ایجاد می‌کند.
- این جداسازی باعث افزایش مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری در شبکه می‌شود.

۲. پشتیبانی از معماری‌های متنوع:

- این چارچوب برای انواع معماری‌های شبکه از جمله SDN و شبکه‌های سنتی مناسب است.
- می‌تواند در محیط‌های سخت‌افزاری یا مجازی استفاده شود.

۳. انعطاف‌پذیری بالا:

- به توسعه‌دهندگان اجازه می‌دهد قوانین فورواردینگ را به‌صورت دینامیک تغییر دهند.
- از عملیات پیچیده مانند تغییر مسیر، سیاست‌های امنیتی، و کیفیت خدمات (QoS) پشتیبانی می‌کند.

۴. استاندارد باز:

- چارچوب ForCES توسط IETF توسعه داده شده و به عنوان یک استاندارد باز عمل می‌کند.
- این ویژگی امکان سازگاری و همکاری بین تولیدکنندگان مختلف تجهیزات شبکه را فراهم می‌کند.

پاسخ

۵. امنیت بالا:

- پشتیبانی از ارتباطات امن بین CEs و FEs.
- استفاده از روش‌های رمزنگاری و مکانیزم‌های احراز هویت برای محافظت از داده‌ها.

۶. مدیریت ساده‌تر:

- جداسازی وظایف کنترل و فورواردینگ باعث ساده‌تر شدن مدیریت شبکه می‌شود.
- امکان نظارت و تحلیل بهتر عملکرد شبکه را فراهم می‌کند.

سوال دوازدهم

تفاوت‌های چارچوب ForCES و OpenFlow را شرح دهید.

پاسخ

۱. معماری و هدف:

- ForCES: هدف اصلی ForCES جداسازی عناصر کنترلی (Control Elements) و فورواردینگ (Forwarding Elements) با استفاده از پروتکل‌های استاندارد برای ارتباط بین آن‌ها است. این چارچوب برای استفاده در انواع شبکه‌ها (از جمله شبکه‌های سنتی و SDN) طراحی شده است.
- OpenFlow: به‌طور خاص برای پیاده‌سازی شبکه‌های تعریف‌شده با نرم‌افزار (SDN) طراحی شده و کنترل متمرکز را فراهم می‌کند. این چارچوب بیشتر روی قوانین و جداول جریان (Flow Tables) متمرکز است.

۲. ارتباط بین کنترل و فورواردینگ:

- ForCES: از یک پروتکل استاندارد برای تبادل اطلاعات و دستورات بین عناصر کنترلی و فورواردینگ استفاده می‌کند. این پروتکل امکان ارتباط پویا و انعطاف‌پذیر را فراهم می‌سازد.
- OpenFlow: از یک کنترل‌کننده متمرکز برای مدیریت مستقیم جداول جریان و ارتباط با سوئیچ‌ها استفاده می‌کند. این ارتباط معمولاً از طریق پروتکل OpenFlow انجام می‌شود.

۳. انعطاف‌پذیری:

- ForCES: انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و می‌تواند در محیط‌های سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، یا ترکیبی استفاده شود. همچنین از معماری‌های مختلف شبکه پشتیبانی می‌کند.
- OpenFlow: تمرکز بیشتری روی شبکه‌های SDN دارد و انعطاف‌پذیری آن به محدوده قوانین تعریف‌شده توسط کنترل‌کننده محدود است.

۴. مدل داده:

- ForCES: از مدل داده‌ای استاندارد و قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌کند که توسط IETF تعریف شده است. این مدل داده برای توسعه‌دهندگان امکان توسعه آسان‌تر را فراهم می‌کند.
- OpenFlow: مدل داده ساده‌تری دارد که بر اساس جداول جریان عمل می‌کند و برای شبکه‌های پویا طراحی شده است.

۵. محدوده کاربرد:

- ForCES: برای طیف گسترده‌ای از شبکه‌ها از جمله شبکه‌های سنتی، مجازی، و شبکه‌های SDN مناسب است.
- OpenFlow: بیشتر در شبکه‌های SDN و برای کنترل متمرکز استفاده می‌شود.

۶. پشتیبانی از استانداردها:

- ForCES: یک استاندارد باز است که توسط IETF توسعه داده شده و به‌عنوان یک چارچوب مستقل عمل می‌کند.
- OpenFlow: توسط ONF (Open Networking Foundation) توسعه داده شده و به‌طور خاص برای شبکه‌های SDN طراحی شده است.