درس شبیه سازی کامپیوتری

فصل سوم – شبیه سازی سیستم های گسسته
پیشامد : اصول، زبان های شبیه سازی

حسین مومنی
momeni@iust.ac.ir

۳- شبیه‌سازی گسسته پیشامد: اصول کلی و زبان های شبیه سازی

- دو رهیافت زبان های شبیه سازی
  - رهیافت زمانبندی پیشامدها
  - رهیافت پردازش-تقابل
- رهیافت زمانبندی پیشامدها ایجاب می کند که تحلیلگر توجه خود را به پیشامد ها و چگونگی تاثیر آنها بر حالت سیستم معطوف کند
  - FORTRAN و ALGOL و BASIC و PASCAL و GASP ...
- رهیافت پردازش-تقابل به تحلیلگر اجازه می دهد تا توجه خود را به یک نهاد منفرد (مانند یک مشتری) وتوالی پیشامد ها و فعالیت هایی که او با «گذرکردن» از سیستم تجربه می کند معطوف دارد.
  - GPSS
- SIMSCRIPT و SLAM امکان ترکیبی را در اختیار قرار می دهند.

۳-۱ مفاهیم مربوط به شبیه‌سازی گسسته پیشامد

- مفاهیم اصلی
  - **سیستم**: مجموعه ای از نهادها که طی زمان برهم تاثیر متقابل می گذارند تا به یک یا چند هدف نایل شوند
  - **مدل**: معرف تجریدی از سیستم که معمولا شامل روابط منطقی و یا ریاضی است که سیستم را برحسب حالت ، نهادها و ویژگی های آنها ، مجموعه ها ، پیشامدها ، فعالیت ها و تاخیرهایشان تشریح می کنند.
  - **حالت سیستم**: جمعی از متغیرها که تمام اطلاعات لازم برای تشریح سیستم در هر لحظه را در برداشته باشد.
  - **نهاد**: هر جزء از یک سیستم که معرفی صریح آن در مدل لازم باشد
  - **ویژگی ها**: خواص هر نهاد مفروض
  - **مجموعه**: جمعی (دائمی یا موقت) از نهادهای مرتبط که به طریقی منطقی آراسته شده باشد(مانند تمام مشتریانی که در حال حاضر در صف انتظارند و به ترتیب ورود یا برحسب اولویت مرتب شده اند)
  - **پیشامد**: رویدادی لحظه ای که حالت سیستم را تغییر می دهد.
  - **فعالیت**: فاصله ای زمانی با طول مشخص (مانند مدت خدمتدهی یا مدت بین دو ورود) که طول آن با شروعش معلوم می شود (هرچند که بتوان آن را برحسب یک توزیع آماری تعریف کرد)
  - **تاخیر**: فاصله ای زمانی با طول نامشخص که تا پایان نیافته است طول آن معلوم نمی شود.

مثال ۳-۱ بررسی مجدد هابیل و خباز

- حالت سیستم:
  - $L_Q(t)$: تعداد خودرو های درحال انتظار برای خدمت در لحظه t
  - $L_A(t)$: معرف بیکار (صفر) یا مشغول (یک) بودن هابیل در لحظه t
  - $L_B(t)$: معرف بیکار (صفر) یا مشغول (یک) بودن خباز در لحظه t
- نهادها
  - برای مشتری ها و خدمت دهنده ها نیازی به معرفی صریح ندارد. (در قالب متغیرهای حالت معرفی شده اند)
- پیشامدها
  - پیشامد ورود، پیشامد خدمتدهی توسط هابیل، پیشامد تکمیل خدمتدهی توسط خباز
- فعالیت ها
  - مدت بین دو ورود ، مدت خدمت دهی توسط هابیل ، مدت خدمت دهی توسط خباز
- تاخیر
  - انتظار در صف تا هابیل یا خباز آزاد شود

مثال ۳-۱ بررسی مجدد هابیل و خباز (ادامه)

- شبیه سازی سیستم های پیشامدهای گسسته با ایجاد توالی ای از تصاویر سیستم پیش می رود که معرف تکوین سیستم طی زمان است.
- هر تصویر در زمانی مفروض CLOCK=t نه تنها حالت سیستم در زمان t بلکه فهرستی (به نام فهرست پیشامدهای آتی یا FEL) از تمام فعالیت های جاری در آن لحظه و زمان پایان هر فعالیت، وضعیت تمام نهادها و اعضای فعلی تمام مجموعه ها و مقادیر فعلی آمارهای تجمعی و شمارشگرهایی را دربردارد که در پایان شبیه سازی به منظور محاسبه آمار تلخیص شده به کار می رود.

ساعت	حالت سیستم	نهادها و ویژگیها	مجموعهٔ ۱	مجموعهٔ ۲	...	فهرست پیشامدهای آتی FEL	آمارهای تجمعی و شمارشگرها
t	$(x, y, z, \cdots)$					$(۳, t_۱)$ – قرار است پیشامد نوع ۳ در زمان $t_۱$ رخ دهد $(۱, t_۲)$ – قرار است پیشامد نوع ۱ در زمان $t_۲$ رخ دهد ⋮ ⋮	

شکل ۳-۱ نمونهٔ تصویر سیستم در زمان شبیه‌سازی t.

مثال ۳-۱ بررسی مجدد هابیل و خباز (ادامه)

- فهرست پیشامدهای آتی در بردارنده تمام پیشامدهای از پیش تعیین شده برای آینده و زمان های مربوط به آنها است که بر حسب زمان وقوع پیشامد مرتب گردیده اند.

$$t<t_1<t_2\ldots.<t_n$$

- مقدار t مقدار CLOCK یعنی مقدار کنونی زمان سیستم شبیه سازی است.
- پیشامد t_1 پیشامد قریب الوقوع است.
- وقتی زمان سیستم به مقدار t_1 رسید پیشامد قریب الوقوع از FEL خارج و اجرا می گردد. (تصویر جدید سیستم)
- با پیشرفت شبیه سازی طول و محتوای FEL تغییر می کند.
  - اضافه، حذف، درج
- شرایط اولیه مشخص کننده حالت سیستم در زمان صفر است

مثال ۳-۱ بررسی مجدد هابیل و خباز (ادامه)

تصویر قبلی سیستم در زمان t

CLOCK	حالت سیستم	...	فهرست پیشامدهای آتی	...
t	(۵, ۱, ۶)		(۳, t_1)- پیشامد نوع ۳ در زمان t_1 رخ می‌دهد (۱, t_2)- پیشامد نوع ۱ در زمان t_2 رخ می‌دهد (۱, t_3)- پیشامد نوع ۱ در زمان t_3 رخ می‌دهد ⋮ ⋮ ⋮ (۲, t_n)- پیشامد نوع ۲ در زمان t_n رخ می‌دهد	

الگوریتم زمانبندی پیشامدها و جلوبری زمان

گام ۱. پیشامد قریب‌الوقوع (پیشامد ۳، زمان t_1) را از FEL خارج کنید.

گام ۲. CLOCK را به زمان پیشامد قریب‌الوقوع جلو ببرید (یعنی CLOCK را از t به t_1 جلو ببرید).

گام ۳. پیشامد قریب‌الوقوع را اجرا کنید: حالت سیستم را تازه کنید. ویژگیهای نهاد و اعضای مجموعه‌ها را بر حسب نیاز تغییر دهید.

گام ۴. (در صورت لزوم) پیشامدهای آتی تولید و در موقعیت صحیح در FEL قرار دهید. (مثال: پیشامد ۴ قرار است در زمان t^* رخ دهد، به‌طوری که $t_2 < t^* < t_3$ باشد).

گام ۵. آمارهای تجمعی و شمارشگرها را تازه کنید.

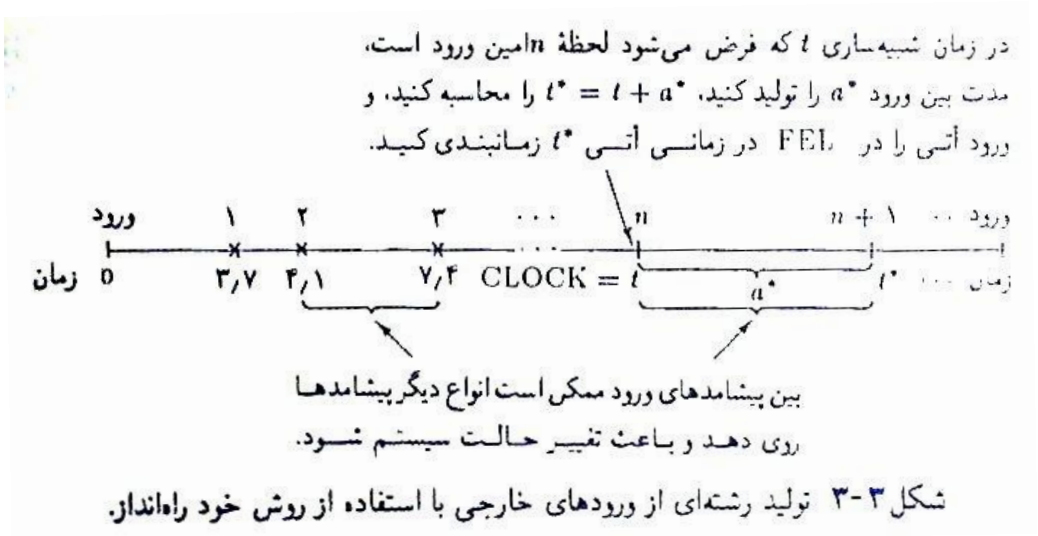
تصویر جدید سیستم در زمان t_1

CLOCK	حالت سیستم	...	فهرست پیشامدهای آتی	...
t_1	(۵, ۱, ۵)		(۱, t_2)- پیشامد نوع ۱ در زمان t_2 رخ می‌دهد. (۴, t^*)-پیشامد نوع ۴ در زمان t^* رخ می‌دهد. (۱, t_3)- پیشامد نوع ۱ در زمان t_3 رخ می‌دهد. ⋮ ⋮ ⋮ (۲, t_n)-پیشامد نوع ۲ در زمان t_n رخ می‌دهد.	

شکل ۳-۲ جلوبری زمان شبیه‌سازی و تازه کردن تصویر سیستم.

مثال ۳-۱ بررسی مجدد هابیل و خباز (ادامه)

- پیشامد برونزا (خارج از سیستم)
  - مثال: ورود به سیستم صف
  - اولین پیشامد ورود در زمان صفر تولید و در FEL برنامه ریزی می شود.
  - مدت بین دو ورود مثالی در مورد **فعالیت** است
  - وقتی ساعت به زمان این ورود می رسد یک پیشامد ورود دوم تولید می شود
  - ابتدا یک مدت بین دو ورود a* تولید و سپس به زمان کنونی t افزوده می شود. از t* که بصورت t*=t+a* محاسبه می شود به عنوان زمان ورود پیشامد جدید در FEL استفاده می شود.
  - این روش تولید رشته ای از ورودی های خارجی روش خود راه انداز نامیده می شود



شکل ۳-۳ تولید رشته‌ای از ورودهای خارجی با استفاده از روش خود راه‌انداز.

مثال ۳-۲ صف تک مجرایی

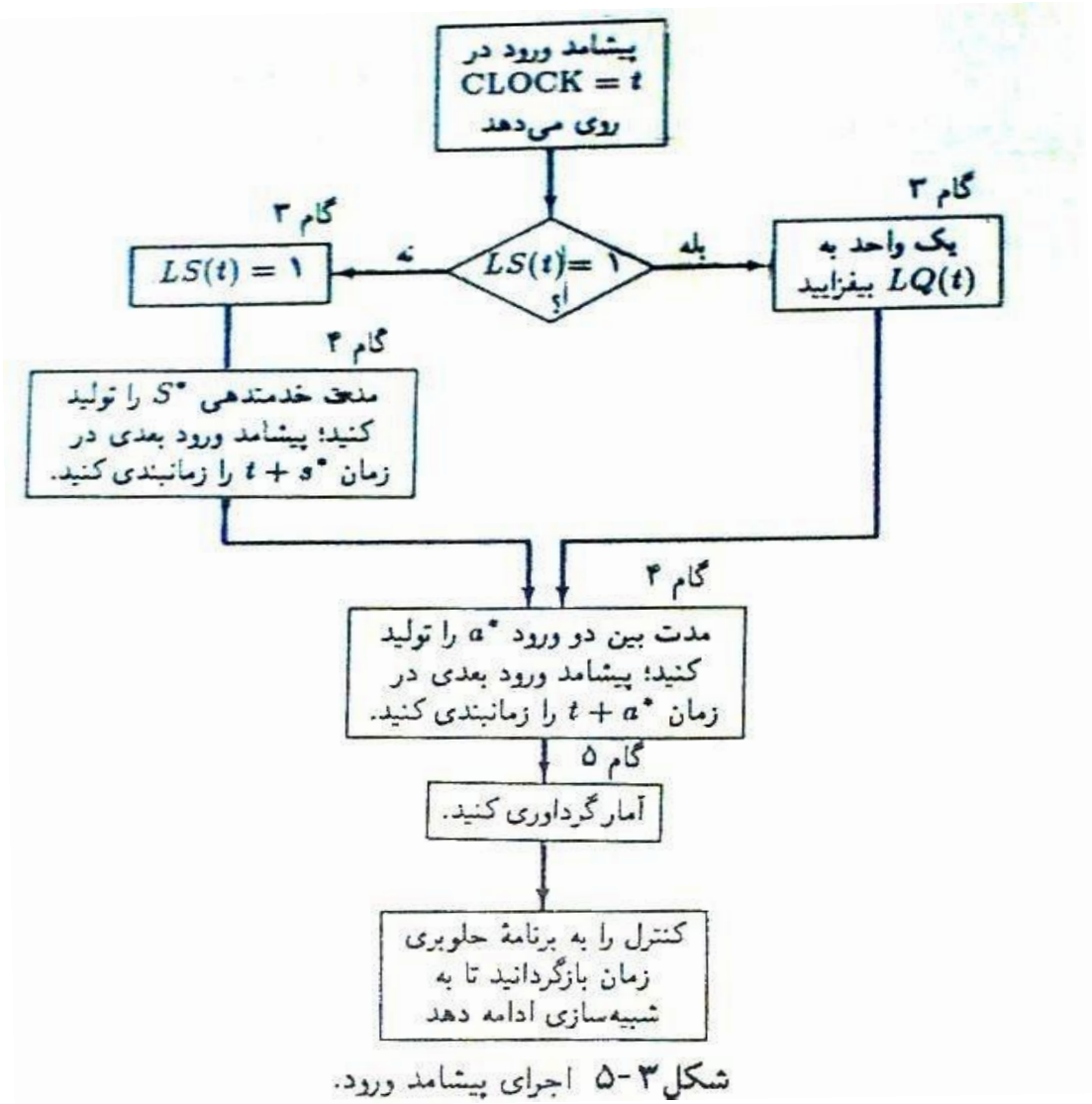
- حالت سیستم
  - $LQ(t)$: تعداد مشتریان در صف انتظار
  - $LS(t)$: تعداد مشتری در حال خدمتگیری (صفر یا یک) در لحظه t
- نهادها
  - خدمت دهنده و مشتریان صریحا مدلسازی نمی شوند مگر در قالب متغیرهای حالت
- پیشامدها
  - پیشامد ورود (A)، پیشامد ترک (D) ، پیشامد پایان اجرا (E) که وقوع آن برای زمان ۶۰ زمانبندی شده است
- فعالیت ها
  - مدت بین دو ورود ، مدت خدمت دهی
- تاخیر
  - مدت ماندن مشتری در صف انتظار
- مدت های بین دو ورود و مدت های خدمتدهی مفروض :

مدت های بین دو ورود	۸	۶	۱	۸	۳	۸	....	
مدت های خدمتدهی	۴	۱	۴	۳	۲	۴	.....	

مثال ۳-۲ صف تک مجرایی (ادامه)

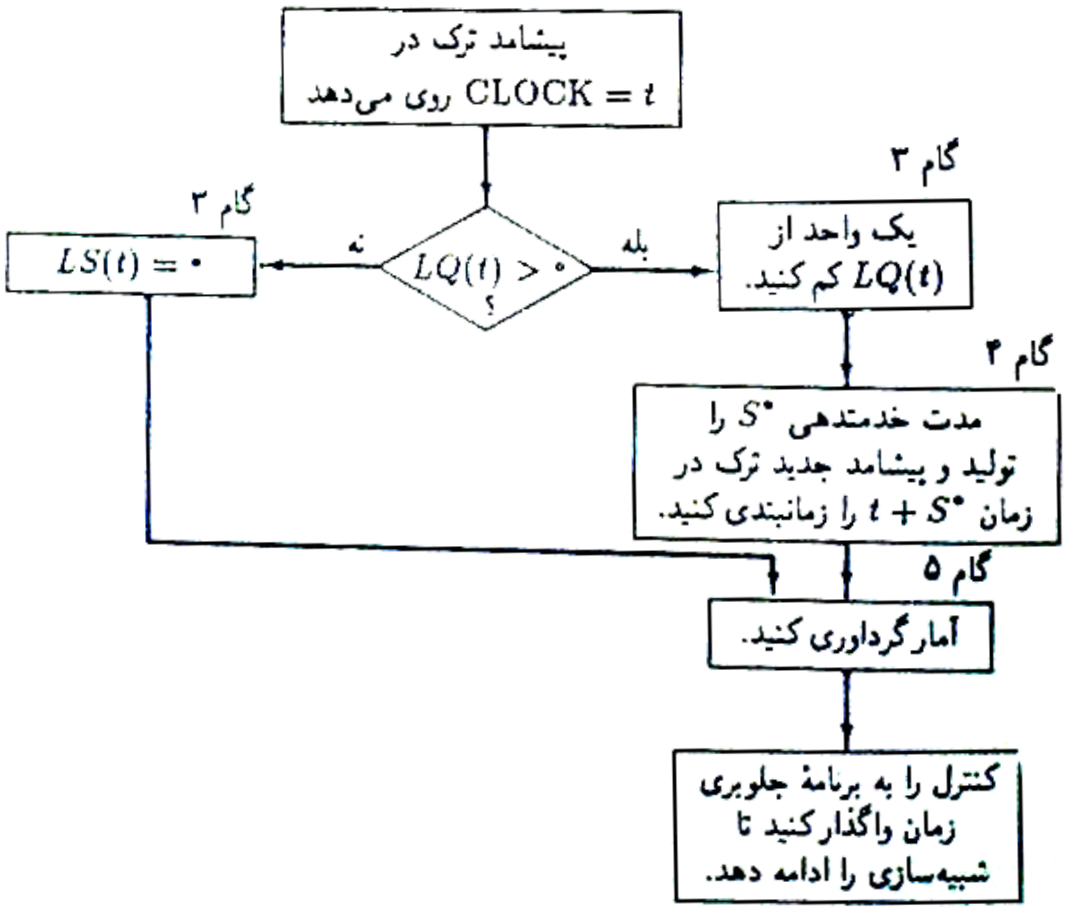
- شرایط اولیه: اولین مشتری در زمان صفر وارد و خدمتدهی به او شروع می شود.
- یک پیشامد ترک و یک ورود در FEL وجود دارد
- دو نوع اطلاعات آماری مورد نیاز است
  - بهره برداری از خدمت دهنده به صورت جمع مدت اشتغال خدمتدهنده B تقسیم بر مدت کل
  - بزرگ ترین طول صف MQ
- a* و s* به ترتیب مدت های بین دو ورود و خدمتدهی است.

مثال ۳-۲ صف تک مجرایی (ادامه)



شکل ۳-۵ اجرای پیشامد ورود.

مثال ۳-۲ صف تک مجرایی (ادامه)



شکل ۳-۶ اجرای پیشامد ترک.

مثال ۳-۲ صف تک مجرایی (ادامه)

جدول ۳-۱ جدول شبیه‌سازی برای باجهٔ صندوق (مثال ۳-۲).

ساعت	حالت سیستم LQ(t)	حالت سیستم LS(t)	فهرست پیشامدهای آتی	توضیحات	آمار تجمعی B	آمار تجمعی MQ
۰	۰	۱	(D, ۴), (A, ۸), (E, ۶۰)	Aی اول رخ می‌دهد	۰	۰
				$A(a^* = 8)$ی بعدی را زمانبندی کنید		
				$D(s^* = 4)$ی اول را زمانبندی کنید		
۴	۰	۰	(A, ۸), (E, ۶۰)	Dی اول رخ می‌دهد: (D, ۴)	۴	۰
۸	۰	۱	(D, ۹), (A, ۱۴), (E, ۶۰)	Aی دوم رخ می‌دهد: (A, ۸)	۴	۰
				$A(a^* = 6)$ی بعدی را زمانبندی کنید		
				$D(s^* = 1)$ی بعدی را زمانبندی کنید		
۹	۰	۰	(A, ۱۴), (E, ۶۰)	Dی دوم رخ می‌دهد: (D, ۹)	۵	۰
۱۴	۰	۱	(A, ۱۵), (D, ۱۸), (E, ۶۰)	Aی سوم رخ می‌دهد: (A, ۱۴)	۵	۰
				$D(s^* = 4)$ی بعدی را زمانبندی کنید		
۱۵	۱	۱	(D, ۱۸), (A, ۲۳), (E, ۶۰)	Aی چهارم رخ می‌دهد: (A, ۱۵) (مشتری به انتظار می‌ماند)	۶	۱
۱۸	۰	۱	(D, ۲۱), (A, ۲۳), (E, ۶۰)	Dی سوم رخ می‌دهد: (D, ۱۸)	۹	۱
				$D(s^* = 3)$ی بعدی را زمانبندی کنید		
۲۱	۰	۰	(A, ۲۳), (E, ۶۰)	Dی چهارم رخ می‌دهد: (D, ۲۱)	۱۲	۱

باید ورود بعدی زمان بندی شود

مثال ۳-۳ ادامه شبیه سازی باجه صندوق

- فرض کنید هدف محاسبه میانگین زمانی است که مشتری در سیستم می ماند (مدت پاسخ) و میانگین نسبت مشتریانی که بیشتر از ۴ دقیقه در سیستم می مانند
- برای اینکه در هنگام ترک سیستم از سوی یک مشتری مدت پاسخ او را محاسبه کرد دانستن زمان ورود مشتری لازم خواهد بود.
- بنابراین یک نهاد مشتری با ویژگی زمان ورود به فهرست اجزای مدل اضافه می گردد.
- پیشامد ها برای تعیین یک مشتری خاص گسترش می یابد
  - (D,4,C1): مشتری C1 در زمان ۴ سیستم را ترک خواهد کرد.
- فهرست اجزای اضافی مدل
  - نهادها: (Ci,t) ، معرف مشتری Ci است که در زمان t وارد شد
  - پیشامدها: (A,t,Ci) ، ورود مشتری Ci در زمان t. (D,t,Ci) ترک مشتری Ci در زمان t
  - مجموعه: «زمان ورود» مجموعه تمام مشتریانی که در حال حاضر در سیستم اند (در حال خدمتگیری یا به انتظار دریافت خدمت)، به ترتیب زمان ورود
- سه مورد آماری
  - S: مجموع مدت های پاسخ برای تمام مشتریانی که تا زمان کنونی سیستم را ترک کرده اند
  - F: جمع مشتریانی که ۴ دقیقه یا بیشتر در سیستم می مانند
  - N_D: جمع موارد ترک سیستم تاکنون

مثال ۳-۳ ادامه شبیه سازی باجه صندوق (ادامه)

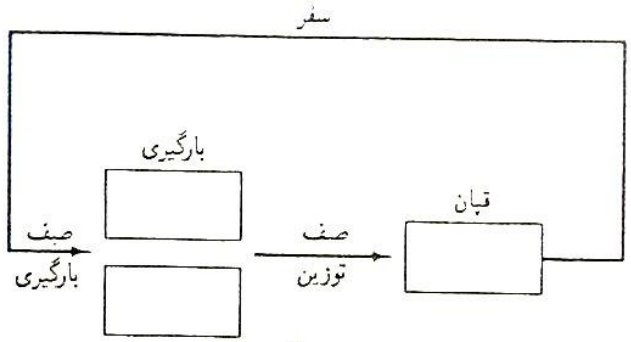
جدول ۳-۲ جدول شبیه‌سازی برای مثال ۳-۲.

ساعت	حالت سیستم		مجموعه «زمان ورود»	فهرست پیشامدهای آتی	آمار تجمعی		
	LQ(t)	LS(t)			S	N_D	F
۰	۰	۱	(C۱, ۰)	(D, ۴, C۱), (A, ۸, C۲), (E, ۶۰)	۰	۰	۰
۴	۰	۰		(A, ۸, C۲), (E, ۶۰)	۴	۱	۱
۸	۰	۱	(C۲, ۸)	(D, ۹, C۲), (A, ۱۴, C۳), (E, ۶۰)	۴	۱	۱
۹	۰	۰		(A, ۱۴, C۳), (E, ۶۰)	۵	۲	۱
۱۴	۰	۱	(C۳, ۱۴)	(A, ۱۵, C۴), (D, ۱۸, C۳), (E, ۶۰)	۵	۲	۱
۱۵	۱	۱	(C۳, ۱۴), (C۴, ۱۵)	(D, ۱۸, C۳), (A, ۲۳, C۵), (E, ۶۰)	۵	۲	۱
۱۸	۰	۱	(C۴, ۱۵)	(D, ۲۱, C۴), (A, ۲۳, C۵), (E, ۶۰)	۹	۳	۲
۲۱	۰	۰		(A, ۲۳, C۵), (E, ۶۰)	۱۵	۴	۳

- متوسط مدت پاسخ $S/N_D=15/4=3.75$
- نسبت مشاهده مشتریان بیشتر از ۴ دقیقه $F/N_D=0.75$

مثال ۳-۴ مسئله کامیون ها

- شش کامیون برای حمل زغال از مدخل یک معدن کوچک به راه آهن مورد استفاده هستند
- هر کامیون به وسیله یکی از دو دستگاه بارگیری بار می گیرد و بلافاصله به قپانی می رود تا در اسرع وقت توزین آن انجام شود
- سیستم دارای دو صف برای قپان و دستگاه های بارگیری است.
- پس از تعیین وزن هر کامیون سفری را شروع می کند و سپس به صف بارگیری باز می گردد.



شکل ۳-۷ مسألهٔ کامیونها.

جدول ۳-۳ توزیع مدت بارگیری برای کامیونها.

مدت بارگیری	احتمال	احتمال تجمعی	تخصیص ارقام تصادفی
۵	۰٫۳۰	۰٫۳۰	۱-۳
۱۰	۰٫۵۰	۰٫۸۰	۴-۸
۱۵	۰٫۲۰	۱٫۰۰	۹-۰

مثال ۳-۴ مسئله کامیون ها (ادامه)

جدول ۳-۴ توزیع مدت توزین برای کامیونها.

مدت توزین	احتمال	احتمال تجمعی	تخصیص ارقام تصادفی
۱۲	۰٫۷۰	۰٫۷۰	۱-۷
۱۶	۰٫۳۰	۱٫۰۰	۸-۰

جدول ۳-۵ توزیع مدت سفر برای کامیونها.

مدت سفر	احتمال	احتمال تجمعی	تخصیص ارقام تصادفی
۴۰	۰٫۴۰	۰٫۴۰	۱-۴
۶۰	۰٫۳۰	۰٫۷۰	۵-۷
۸۰	۰٫۲۰	۰٫۹۰	۸-۹
۱۰۰	۰٫۱۰	۱٫۰۰	۰

مثال ۳-۴ مسئله کامیون ها (ادامه)

- اجزای مدل
  - حالت سیستم: $[LQ(t) , L(t) , WQ(t) , W(t)]$ بطوری که در زمان شبیه سازی t
    - $LQ(t)$: تعداد کامیون ها در صف بارگیری
    - $L(t)$: تعداد کامیون ها در حال بارگیری (۰ ، ۱ یا ۲)
    - $WQ(t)$: تعداد کامیون ها در صف توزین
    - $W(t)$: تعداد کامیون های در حال توزین (صفر یا یک)
  - پیشامدها: (ALQ,t,DT_i) کامیون i در زمان t به صف بارگیری وارد می شود، (EL , t , DT_i) بارگیری کامیون i در زمان t به اتمام می رسد، (EW, t , DT_i) توزین کامیون i در زمان t به اتمام می رسد
  - نهادها: شش کامیون $(DT_6 .... DT_1)$
  - مجموعه ها: صف بارگیری، تمام کامیون های منتظر برای شروع بارگیری که به ترتیب ورود مرتب شده است. صف توزین، تمام کامیون های منتظر برای توزین که به ترتیب ورود مرتب شده است.
  - فعالیت ها: مدت بارگیری، مدت توزین، مدت سفر
  - تاخیرها: تاخیر در صف بارگیری و تاخیر در محل قپان
  - فرض: در زمان صفر ۵ کامیون در قسمت بارگیری و یک کامیون در قسمت توزین است

مدت بارگیری	۱۰	۵	۵	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰
مدت توزین	۱۲	۱۲	۱۲	۱۶	۱۲	۱۶	
مدت سفر	۶۰	۱۰۰	۴۰	۴۰	۸۰		

مثال ۳-۴ مسئله کامیون ها (ادامه)

- در ابتدا ۵ کامیون در قسمت بارگیری و ۱ کامیون در قسمت توزین

جدول ۳-۶ جدول شبیه‌سازی برای عملیات کامیونها (مثال ۳-۴).

ساعت	حالت سیستم				مجموعه‌ها		فهرست پیشامدهای آتی	آمار تجمعی	
	$W(t)$	$WQ(t)$	$L(t)$	$LQ(t)$	صف توزین	صف بارگیری		B_S	B_L
t									
۰	۱	۰	۲	۳		DT۴	(EL, ۵, DT۳)	۰	۰
						DT۵	(EL, ۱۰, DT۲)		
						DT۶	(EW, ۱۲, DT۱)		
۵	۱	۱	۲	۲	DT۳	DT۵	(EL, ۱۰, DT۲)	۵	۱۰
						DT۶	(EL, ۵ + ۵, DT۴)		
							(EW, ۱۲, DT۱)		
۱۰	۱	۲	۲	۱	DT۳	DT۶	(EL, ۱۰, DT۴)	۱۰	۲۰
					DT۲		(EW, ۱۲, DT۱)		
							(EL, ۱۰ + ۱۰, DT۵)		
۱۰	۱	۳	۲	۰	DT۳		(EW, ۱۲, DT۱)	۱۰	۲۰
					DT۲		(EL, ۲۰, DT۵)		
					DT۴		(EL, ۱۰ + ۱۵, DT۶)		
۱۲	۱	۲	۲	۰	DT۲		(EL, ۲۰, DT۵)	۱۲	۲۴
					DT۴		(EW, ۱۲ + ۱۲, DT۳)		
							(EL, ۲۵, DT۶)		
							(ALQ, ۱۲ + ۶۰, DT۱)		
۲۰	۱	۳	۱	۰	DT۲		(EW, ۲۴, DT۳)	۲۰	۴۰
					DT۴		(EL, ۲۵, DT۶)		
					DT۵		(ALQ, ۷۲, DT۱)		
۲۴	۱	۲	۱	۰	DT۴		(EL, ۲۵, DT۶)	۲۴	۴۴
					DT۵		(EW, ۲۴ + ۱۲, DT۲)		
							(ALQ, ۷۲, DT۱)		
							(ALQ, ۲۴ + ۱۰۰, DT۳)		
۲۵	۱	۳	۰	۰	DT۴		(EW, ۳۶, DT۲)	۲۵	۴۵
					DT۵		(ALQ, ۷۲, DT۱)		
					DT۶		(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		
۳۶	۱	۲	۰	۰	DT۵		(EW, ۳۶ + ۱۶, DT۴)	۳۶	۴۵
					DT۶		(ALQ, ۷۲, DT۱)		
							(ALQ, ۳۶ + ۴۰, DT۲)		
							(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		
۵۲	۱	۱	۰	۰	DT۶		(EW, ۵۲ + ۱۲, DT۵)	۵۲	۴۵
							(ALQ, ۷۲, DT۱)		
							(ALQ, ۷۶, DT۲)		
							(ALQ, ۵۲ + ۴۰, DT۴)		
							(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		

مثال ۳-۴ مسئله کامیون ها (ادامه)

- دو آمار تجمعی نگه داشته می شود
  - B_L = مجموع مدت اشتغال هر دو دستگاه بارگیری از صفر تا زمان t
  - B_S مجموع مدت اشتغال قپان از صفر تا زمان t

متوسط بهره برداری از هر دستگاه بارگیری= ۷۶/۴۹.۲=۰.۳۲

متوسط بهره برداری از قپان= ۷۶/۷۶=۱

جدول ۳-۶ (ادامه) جدول شبیه‌سازی برای عملیات کامیونها (مثال ۳-۴)

ساعت	حالت سیستم				مجموعه‌ها	فهرست پیشامدهای آتی	آمار تجمعی	
	$LQ(t)$	$L(t)$	$WQ(t)$	$W(t)$	صف توزین / صف بارگیری		B_L	B_S
t								
۶۴	۰	۰	۰	۱		(ALQ, ۷۲, DT۱)	۴۵	۶۴
						(ALQ, ۷۶, DT۲)		
						(EW, ۶۴ + ۱۶, DT۶)		
						(ALQ, ۹۲, DT۴)		
						(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		
۰						(ALQ, ۶۴ + ۸۰, DT۵)		
۷۲	۰	۱	۰	۱		(ALQ, ۷۶, DT۲)	۴۵	۷۲
						(EW, ۸۰, DT۶)		
						(EL, ۷۲ + ۱۰, DT۱)		
						(ALQ, ۹۲, DT۴)		
						(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		
						(ALQ, ۱۴۴, DT۵)		
۷۶	۰	۲	۰	۱		(EW, ۸۰, DT۶)	۴۹	۷۶
						(EL, ۸۲, DT۱)		
						(EL, ۷۶ + ۱۰, DT۲)		
						(ALQ, ۹۲, DT۴)		
						(ALQ, ۱۲۴, DT۳)		
						(ALQ, ۱۴۴, DT۵)		