

بسمه تعالی

درس مهندسی نرم افزار پیشرفته

فصل چهاردهم

شبکه‌های پتری

دکتر فریدون شمس

اهداف جلسه



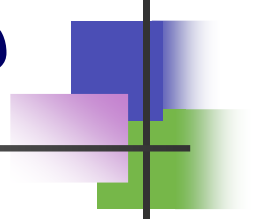
- مفاهیم شبکه‌های پتری
- کاربردهای شبکه‌های پتری
- آشنایی با عناصر شبکه پتری
- خصوصیات شبکه‌های پتری
- آشنایی با انواع شبکه‌های پتری
- کاربرد شبکه‌های پتری در مهندسی نرم‌افزار

مدلسازی رفتار سیستم



- برای نمایش رفتار سیستم از مجموعه‌ای از مدل‌ها و ابزارها استفاده می‌شود
- روش مدلسازی تاثیر مستقیمی بر ارزیابی مدل دارد
- هر چه مدل دارای عناصر بیشتری باشد، ارزیابی دشوارتر می‌شود
- در صورتی که مدل از پشته‌واره ریاضی برخوردار باشد، ارزیابی ساده‌تر خواهد شد

مدلسازی رفتار سیستم (ادامه)

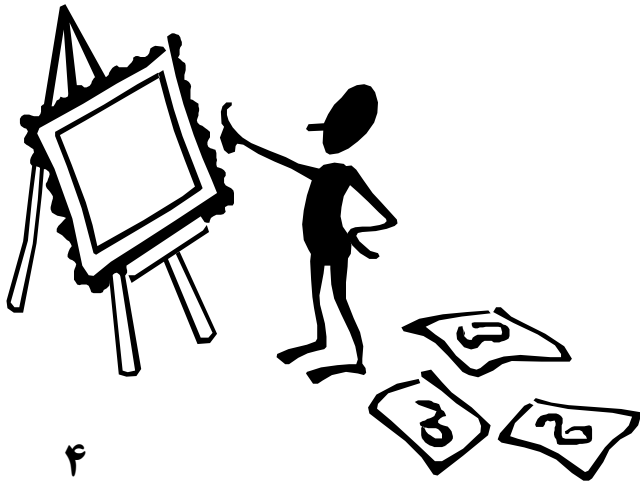


■ سه روش برای مدلسازی رفتار وجود دارد

■ نمودار حالت (*Statechart*) و نمودارهای UML

■ نمودار انتقال حالت (*State Transition Diagram*)

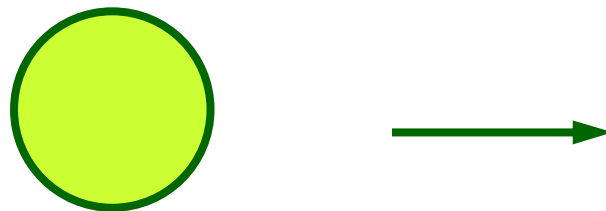
■ شبکه‌های پتری (*Petri Net*)



نمودار انتقال حالت



- در این روش سیستم توسط مجموعه‌ای از حالات نشان داده می‌شود که رویدادهای خارجی سبب حرکت روی حالات می‌شوند
- با توجه به اینکه اغلب سیستم‌ها دارای حالات مختلف هستند، نمودار انتقال حالت بزرگ و پیچیده خواهد شد
- این نمودار دارای دو عنصر حالت و انتقال است



نمودار انتقال حالت (ادامه)

مثالی از کامپایل برنامه



نمودار انتقال حالت (ادامه)



■ مشکلات نمودار انتقال حالت

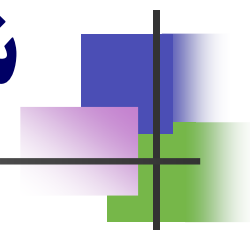
- وقتی **تعداد حالات** و **رویدادها** افزایش یابد، پیچیدگی به صورت تصاعدی افزایش می یابد
- ابهام در نمودار سبب **افزایش پیچیدگی** و تضعیف ارزیابی می شود
- با توجه به عدم وجود پشتوانه ریاضی توانایی **ارزیابی کامل** نمودار وجود ندارد

شبکه پتری



- با وجود نقاط ضعف و مشکلات روش‌های مدلسازی رفتار در ارزیابی، استفاده از شبکه‌های پتری بسیار مورد توجه قرار گرفته است
- شبکه پتری، مبتنی بر نظریه گراف بوده و با استفاده از قواعدی منطقی جریان فعالیت‌ها در سیستم را نمایش می‌دهد
- چارچوب ریاضی شبکه پتری سبب می‌شود تا توانایی تحلیل، تایید صحت و ارزیابی مدل‌ها را داشته باشد

شبکه پتری (ادامه)



- شبکه پتری قادر به توصیف سیستم‌هایی است که شامل مجموعه‌ای از **رخداد‌های گسسته** و **پراکنده** هستند، از جمله
 - همزمانی و تعارض
 - ترتیب‌ها، شاخه‌های شرطی و چرخه‌ها
 - همگام‌سازی (*Synchronization*)
 - اشتراک منابع محدود و انحصار متقابل
 - الگوهای مخابراتی، کنترلی و جریان‌های اطلاعاتی

تاریخچه شبکه پتری



- رساله دکترای آقای کارل آدام پتری برای نمایش ارتباط علت و معلول (*Cause and Effect*) در آلمان در سال ۱۹۶۲
- بسط تئوری در دانشگاه MIT در دهه ۱۹۷۰
- کنفرانس پتری نت و روش‌های مرتبط در سال ۱۹۷۵
- افزوده شدن زمان قطعی (*deterministic time*)
- افزوده شدن زمان تصادفی (*stochastic time*)
- شبکه پتری رنگی (*Colored Petri Net*)

عناصر شبکه پتری



■ هر مدل شبکه پتری با استفاده از سه عنصر مدل می شود

■ مکان (Place): حالت سیستم را نشان می دهند

■ انتقال (Transition): رویدادهایی را که سبب تغییر حالت سیستم

می شوند را نشان می دهند

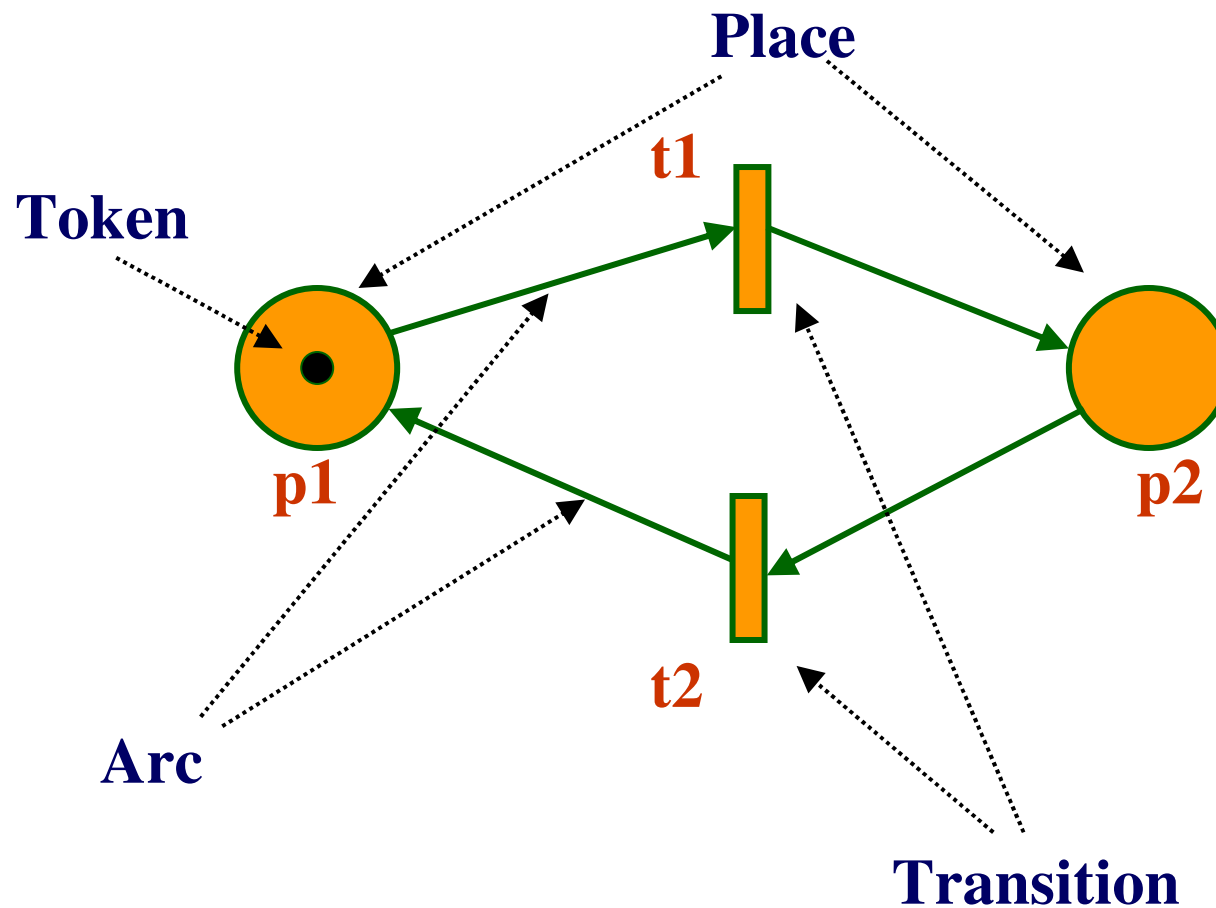
■ کمان (Arc): ارتباط بین حالات را نشان می دهند

■ در هنگام نمایش اجرای شبکه پتری از نشانه (Token) برای بیان

وضعیت فعلی شبکه پتری استفاده می شود

■ نشانه ها در مکان ها قرار می گیرند

عناصر شبکه پتری (ادامه)



تعریف شبکه پتری



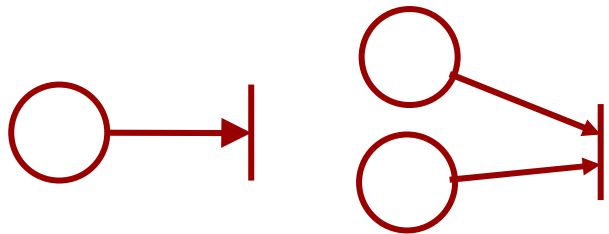
■ یک شبکه پتری مجموعه‌ایست از (P, T, I, O, M) که

- P : مجموعه مکان‌ها
- T : مجموعه انتقالات
- I : مجموعه ورودی‌ها
- O : مجموعه خروجی‌ها
- M : مجموعه حرکات

تعریف شبکه پتری (ادامه)



- کمان ورودی به کمانی گفته می‌شود که از مکان به یک انتقال وارد می‌شود و نشان‌دهنده شرطی است که باید برآورده شود تا رویداد اتفاق بیفتد



- کمان خروجی به کمانی گفته می‌شود که از انتقال به مکان وارد می‌شود و نشان‌دهنده شرایط حاصل از وقوع رویداد است



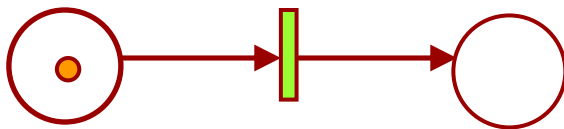
تعریف شبکه پتری (ادامه)

■ حرکت در شبکه پتری برداری است به اندازه تعداد نشانه‌ها

$(m_1 \ m_2 \ \dots \ m_p)$; $P = \# \text{ of Places}$

■ وقتی مکان ورودی به یک انتقال به اندازه مورد نیاز نشانه داشته

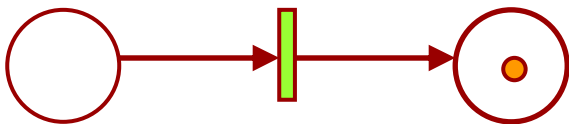
باشد، آن انتقال فعال است



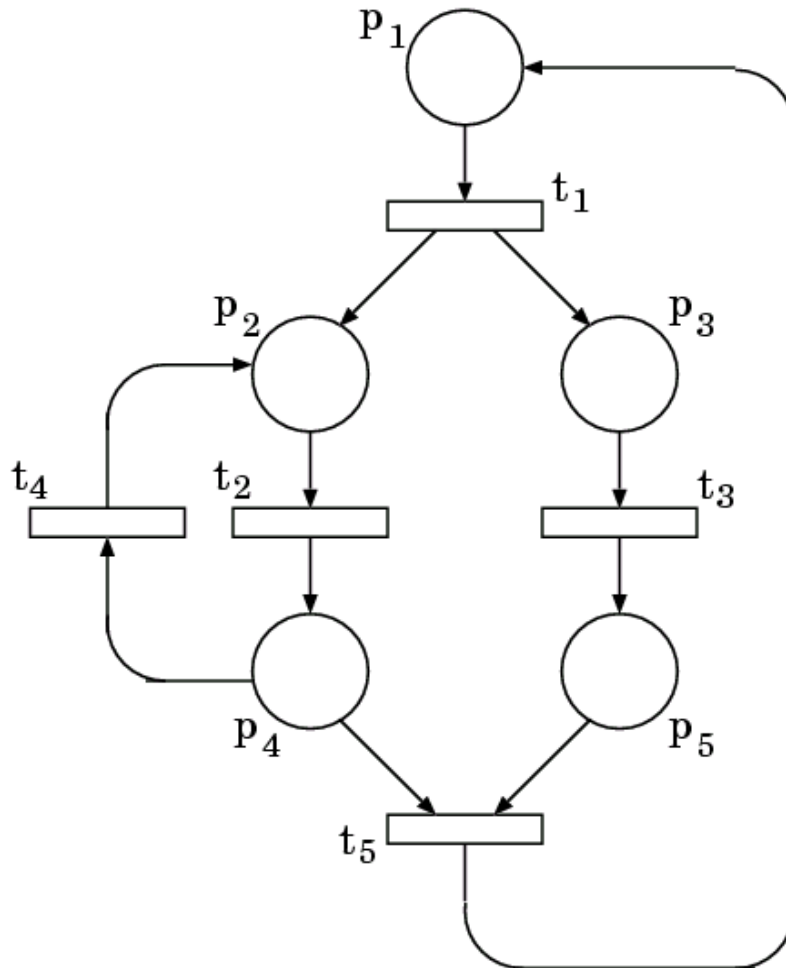
■ وقتی انتقالی فعال باشد، می‌تواند شلیک شود (رویداد اتفاق

می‌افتد) که در این صورت یک نشانه از هر مکان ورودی کم شده و

یک نشانه به مکان خروجی افزوده می‌شود



تعریف شبکه پتری (ادامه)



$$P = \{p_1 p_2 p_3 p_4 p_5\}$$

$$T = \{t_1 t_2 t_3 t_4 t_5\}$$

$$I(t_1) = \{p_1\} \quad O(t_1) = \{p_2 p_3\}$$

$$I(t_2) = \{p_2\} \quad O(t_2) = \{p_4\}$$

$$I(t_3) = \{p_3\} \quad O(t_3) = \{p_5\}$$

$$I(t_4) = \{p_4\} \quad O(t_4) = \{p_2\}$$

$$I(t_5) = \{p_4 p_5\} \quad O(t_5) = \{p_1\}$$

$$M_1 = (1, 0, 0, 0, 0)$$

نکات ضمنی تعریف



- شلیک شدن به صورت اتوماتیک انجام می شود
- پس از فعال شدن انتقال
- ممکن است که چند انتقال فعال شوند، اما در هر زمان تنها یک شلیک انجام می شود
- شبکه ایستا است
- حالت شبکه با توزیع نشانه ها در مکان ها نمایش داده می شود
- حرکت نشانه ها و شلیک شدن سبب ایجاد حالت های مختلف می شوند

نکات ضمنی تعریف (ادامه)

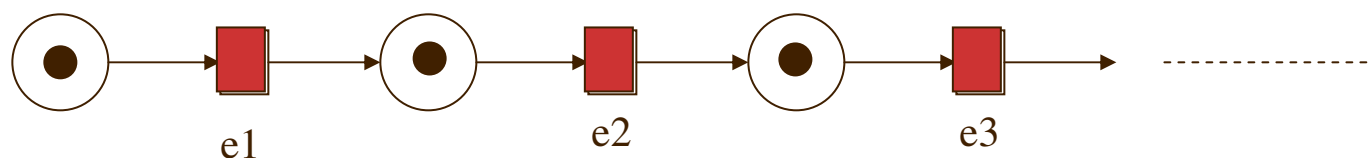


■ انواع حالات

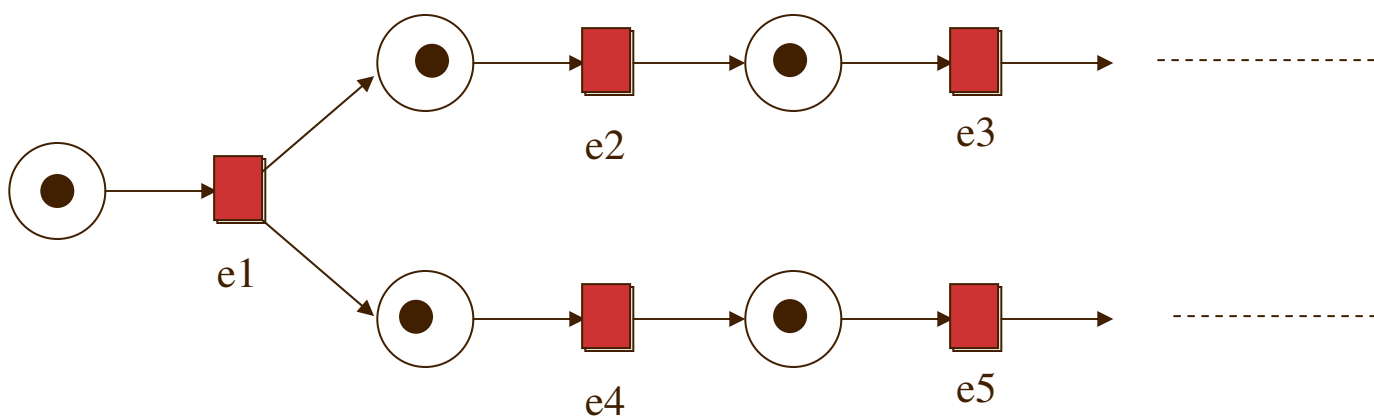
- **حالت اولیه (*Initial State*):** توزیع اولیه نشانه‌ها
- **حالت قابل دستیابی (*Reachable State*):** حالت قابل دستیابی از حالت اولیه
- **حالت نهایی (*Final State*):** حالتی که هیچ انتقالی فعال نباشد (حالت مرده)
- **حالت خانه (*Home State*):** حالتی که همواره امکان بازگشت به آن وجود داشته باشد
- از هر حالتی قابل دستیابی است

نمونه ساختارهای شبکه پتری

توالی رویدادها/عملیات



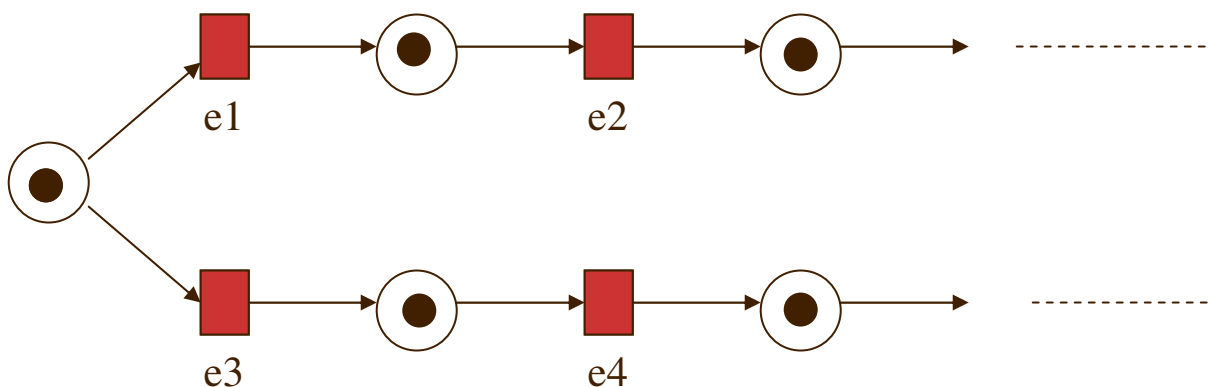
اجرای همزمان



نمونه ساختارهای شبکه پتری (ادامه)

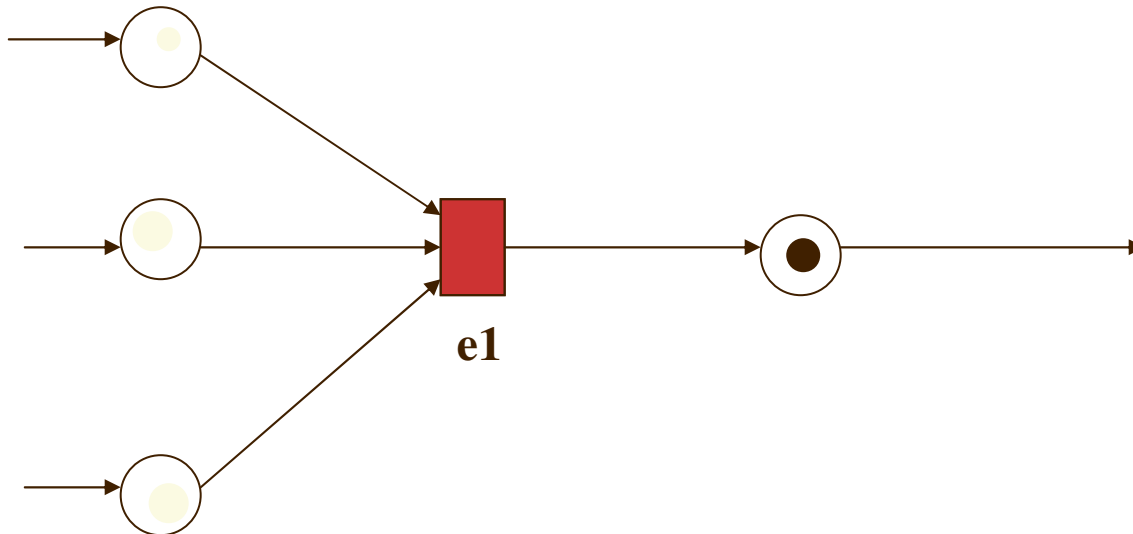
■ رویدادهای غیرقطعی

■ بسته به شرایط یکی از مسیرها انتخاب می شود



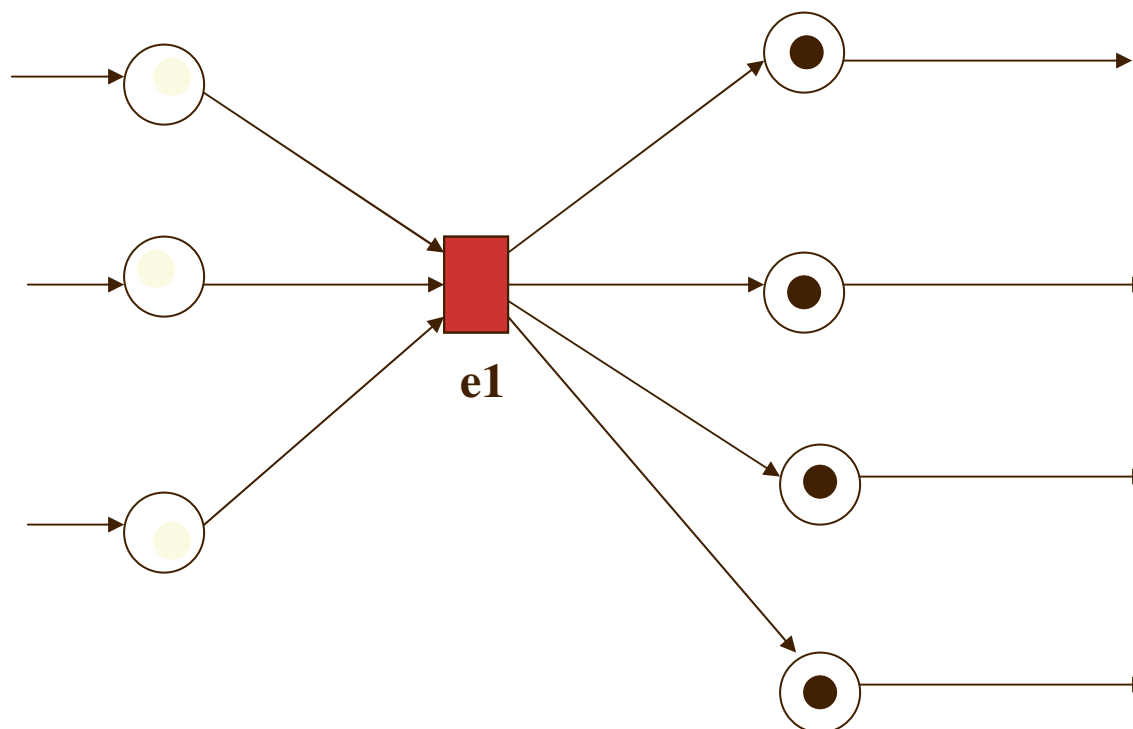
نمونه ساختارهای شبکه پتری (ادامه)

هماهنگ سازی



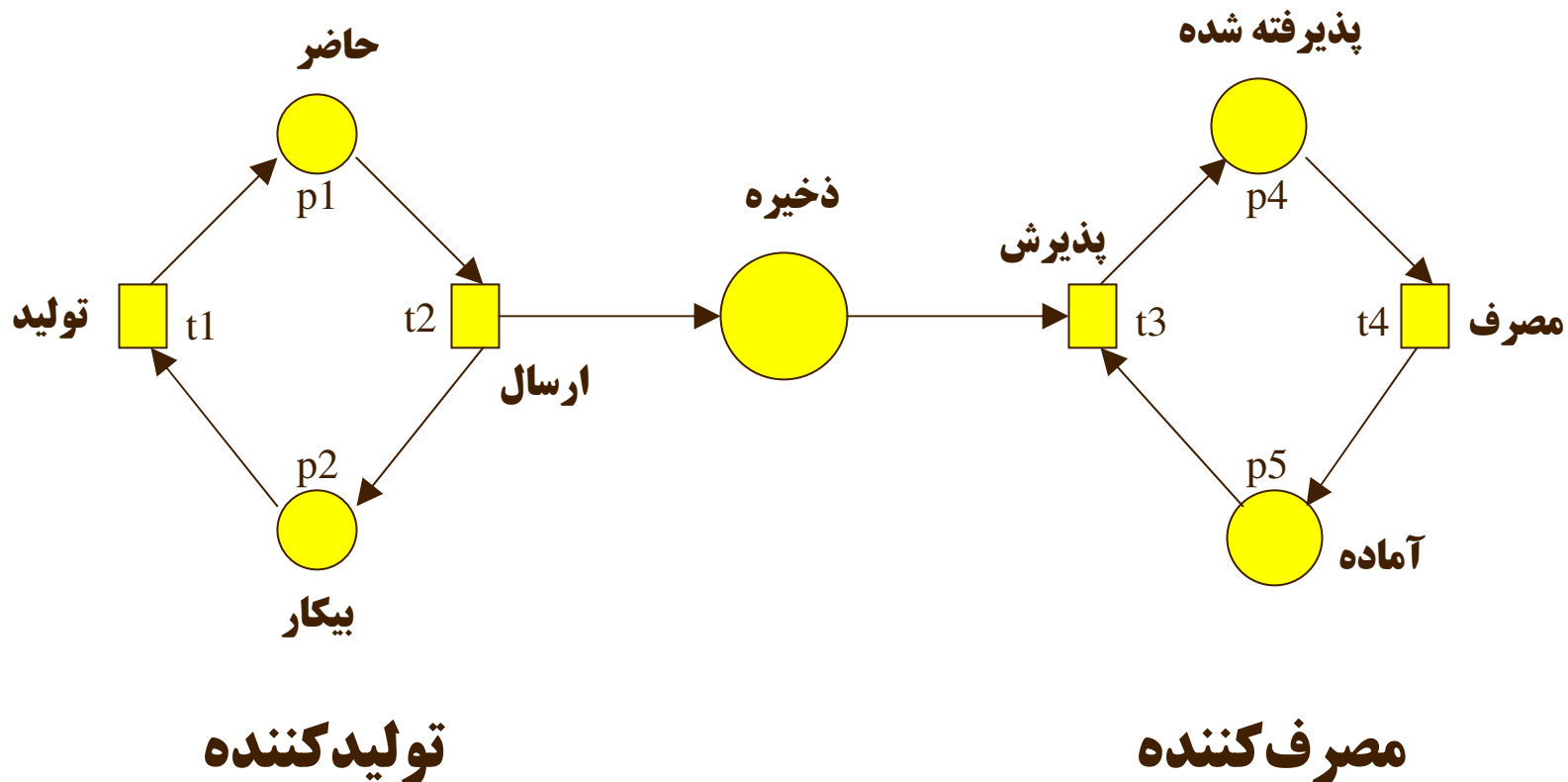
نمونه ساختارهای شبکه پتری (ادامه)

هماهنگ سازی و همروندی



نمونه مدلسازی رفتار با شبکه پتری

تولیدکننده – مصرف کننده



نمونه مدلسازی رفتار با شبکه پتری



■ ماشین فروشنده نوشابه

■ دو نوع نوشابه ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ ریالی موجود است

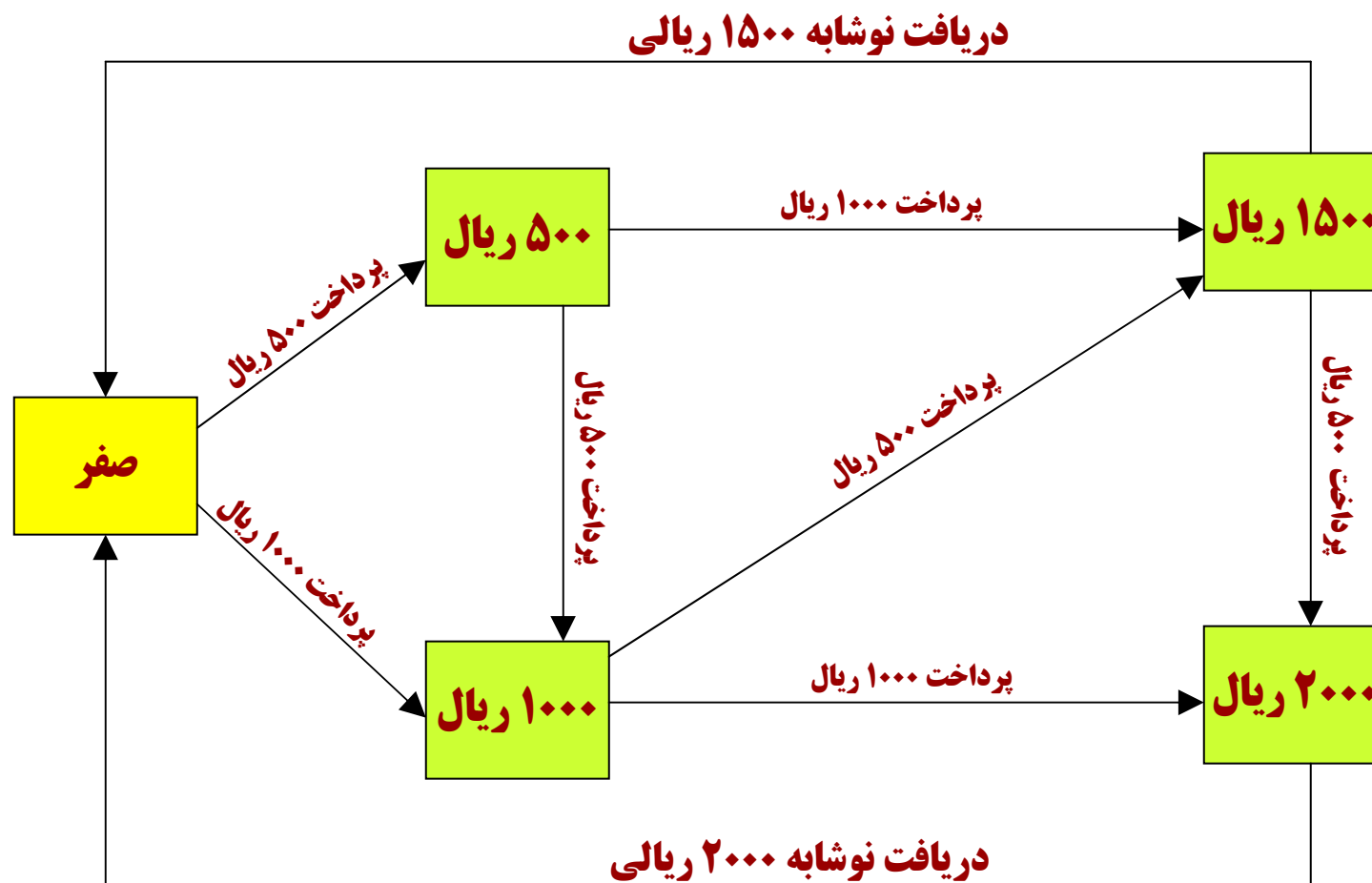
■ فقط سکه‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ریالی پذیرفته می‌شود

■ سکه پس داده نمی‌شود!



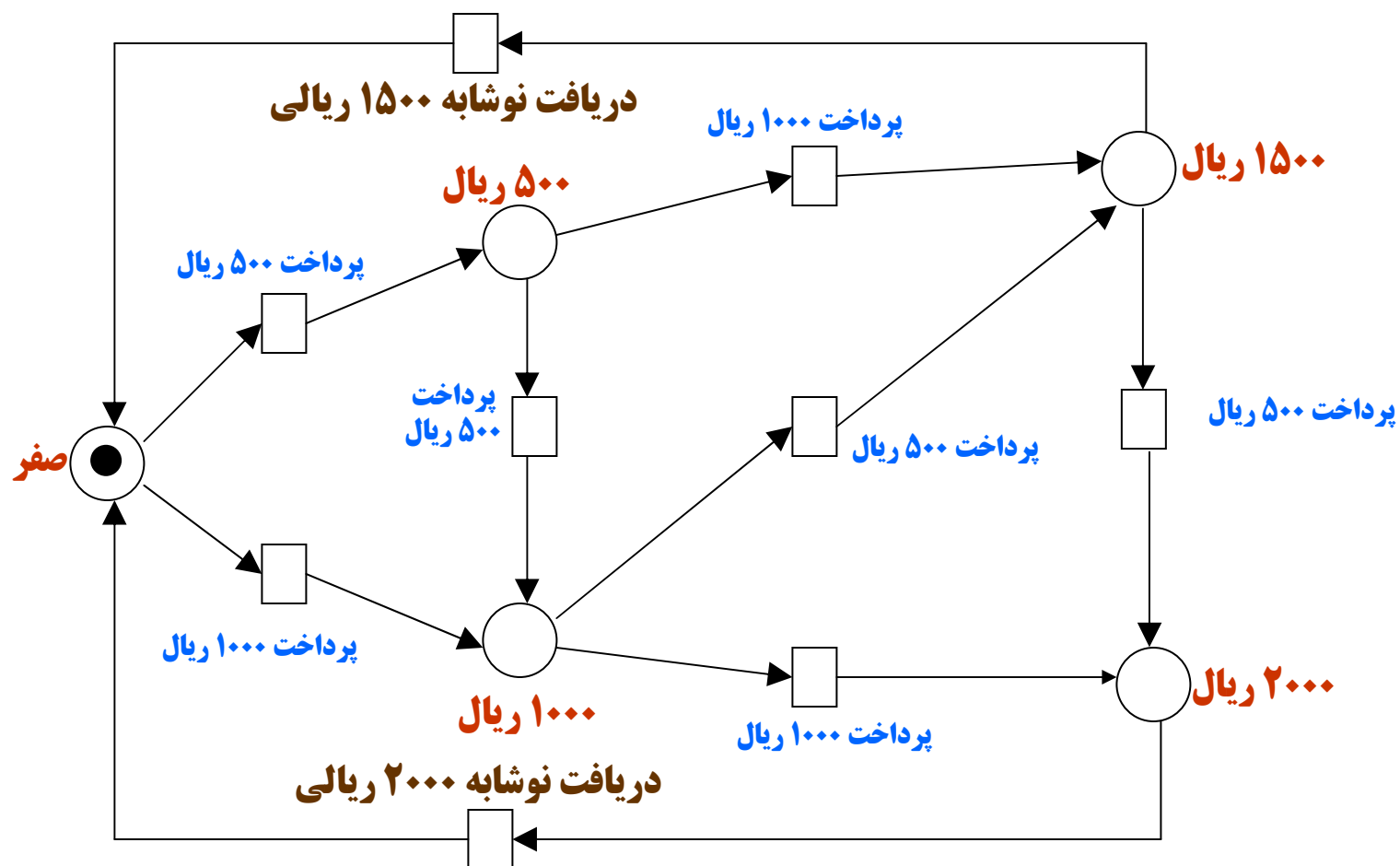
نمونه مدلسازی رفتار با شبکه پتری (ادامه)

نمودار انتقال حالت

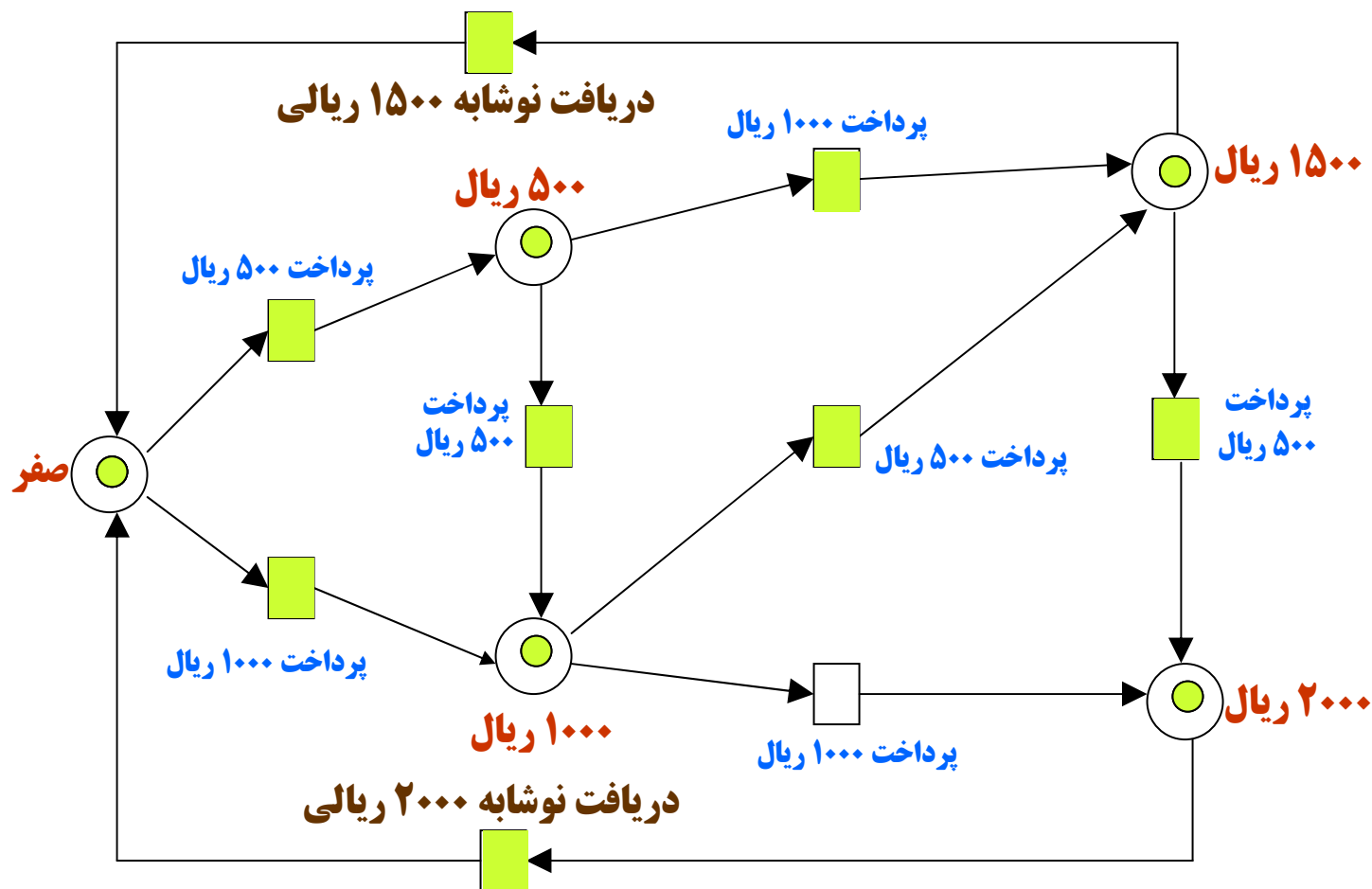


نمونه مدلسازی رفتار با شبکه پتری (ادامه)

شبکه پتری



نمونه مدلسازی رفتار با شبکه پتری (ادامه)



سناریو ۱

۵۰۰ ریال

۵۰۰ ریال

۵۰۰ ریال
نوشابه

۵۰۰ ریال
نوشابه

نوشابه

۲۰۰۰ ریالی

خصوصیات رفتاری شبکه‌های پتری



■ خصوصياتی که به حالت اولیه بستگی دارند

■ *Reachability*

- آیا همه حالت‌ها اجرا می‌شوند؟
- حالت M_n قابل دستیابی از حالت M_0 است، اگر ترتیبی از شلیک‌هایی وجود داشته باشد که از M_0 شروع شده و به M_n برسد
- وجود حالت‌های غیرقابل دستیابی نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از مسئله به درستی درک و مدلسازی نشده است

خصوصیات رفتاری شبکه‌های پتری (ادامه)



Boundedness and Safeness

- در صورتیکه تعداد نشانه‌ها در هر مکان قابل دستیابی از حالت اولیه، از تعداد خاصی کمتر باشد به آن شبکه **کران‌دار** گویند
- در صورتیکه تعداد نشانه‌ها K باشد به آن شبکه k -bounded گویند
- شبکه 1 -bounded را شبکه مطمئن (*Safe*) گویند
- در صورتیکه شبکه مطمئن می‌باشد می‌توان اطمینان حاصل کرد که با هر ترتیبی از شلیک‌ها، سر ریز در ثبات‌ها و بافرها به‌وجود نمی‌آید

خصوصیات رفتاری شبکه‌های پتری (ادامه)



Liveness ■

- در صورتی شبکه پتری زنده (*Live*) است که بتوان هر حالت را با ترتیبی از شلیک‌های مناسب فعال نمود
- زنده بودن شبکه پتری معادل بدون بن بست بودن است
- شبکه‌های پتری دارای سطوح مختلف زنده بودن هستند ($L_0 = \text{مرد}$ ،
 $L_1, L_2, L_3, L_4 = \text{زنده}$)

خصوصیات رفتاری شبکه‌های پتری (ادامه)

Reversibility

- یک شبکه پتری معکوس‌پذیر است اگر برای هر حالت M_n که از M_0 قابل دستیابی است، M_0 نیز از M_n قابل دسترسی باشد
- در صورتی M' حالت خانه (*Home State*) است اگر برای هر حالت M قابل دستیابی از M_0 ، M' از M قابل دستیابی باشد

Persistence

- یک شبکه پتری ماندگار است اگر در هر انتقال دوتایی، شلیک شدن یکی سبب غیرفعال شدن دیگری نشود

خصوصیات رفتاری شبکه‌های پتری (ادامه)



Fairness



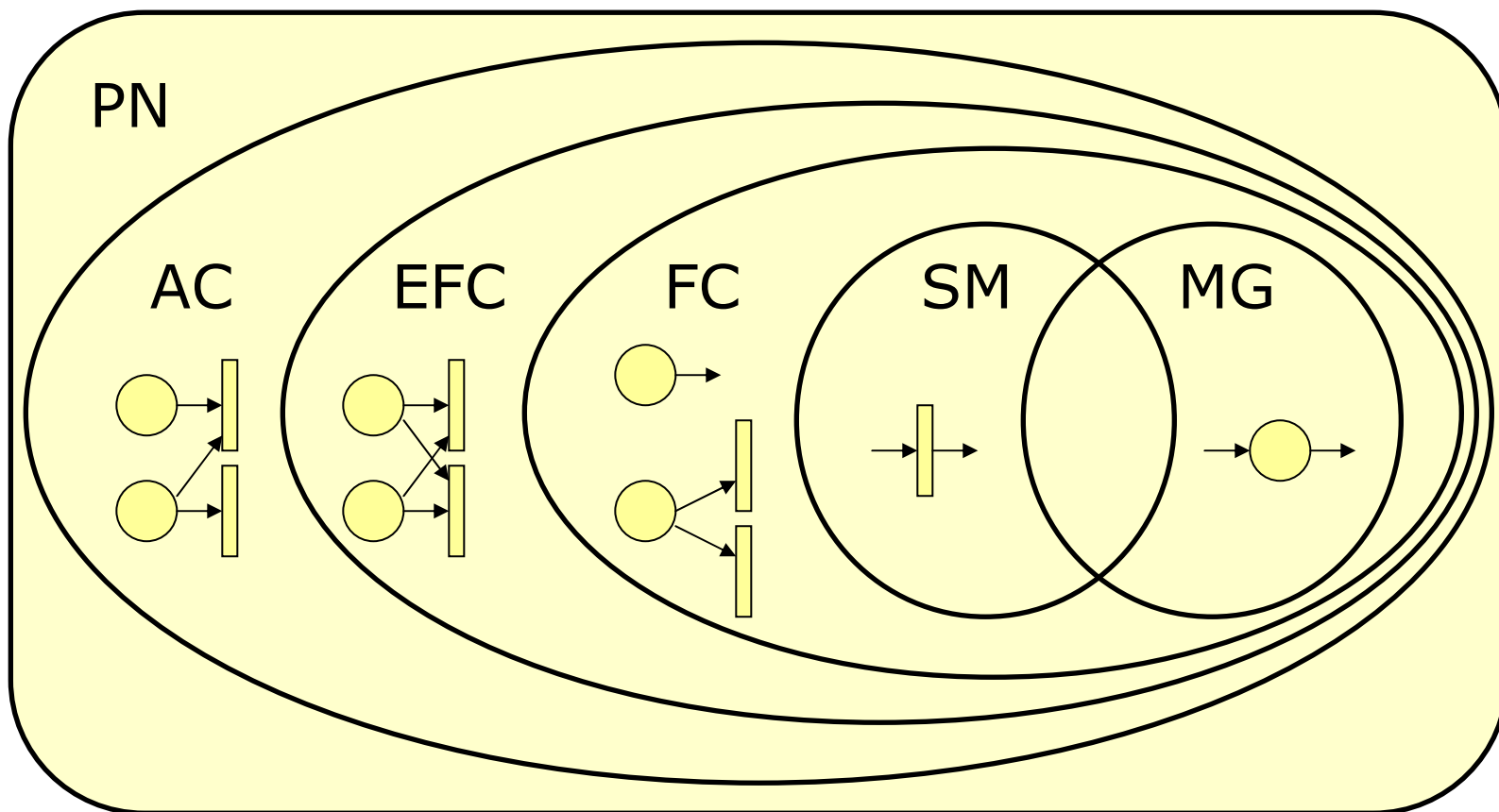
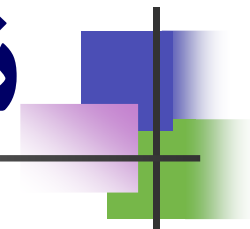
- آیا چرخه بی‌نهایت در شبکه وجود دارد؟
- هر انتقال سرانجام شلیک می‌شود و انتقالی وجود ندارد که شلیک نشود
- *Bounded-Fairness*: اگر تعداد دفعاتی که یک انتقال می‌تواند شلیک شود در حالیکه انتقال دیگر شلیک نشده باشد، محدود باشد
- *Unbounded-Fairness*: اگر تعداد دفعاتی که یک انتقال می‌تواند شلیک شود در حالیکه انتقال دیگر شلیک نشده باشد، نامحدود باشد

زیرنوع‌های شبکه پتری

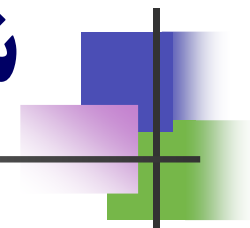


- Ordinary PNs
- State machine
- Marked graph
- Free-choice
- Extended free-choice
- Asymmetric choice (or simple)

زیرنوع‌های شبکه پتری (ادامه)



شبکه‌های پتری رنگی



- این نوع شبکه‌ها امکان مدل‌سازی **دقیقتر** و **جزئی‌تری** را از فرآیندهای غیرهمزمان پیچیده می‌دهند
- نشانه‌ها می‌توانند با هم متفاوت باشند، بطوریکه به هر نشانه خصوصیتی بنام **رنگ** اضافه می‌شود
- کمان‌ها می‌توانند شامل **عبارات ریاضی** باشند که از ترکیب **مجموعه‌های رنگ** و **متغیرهای مربوط** به آنها تشکیل می‌شوند

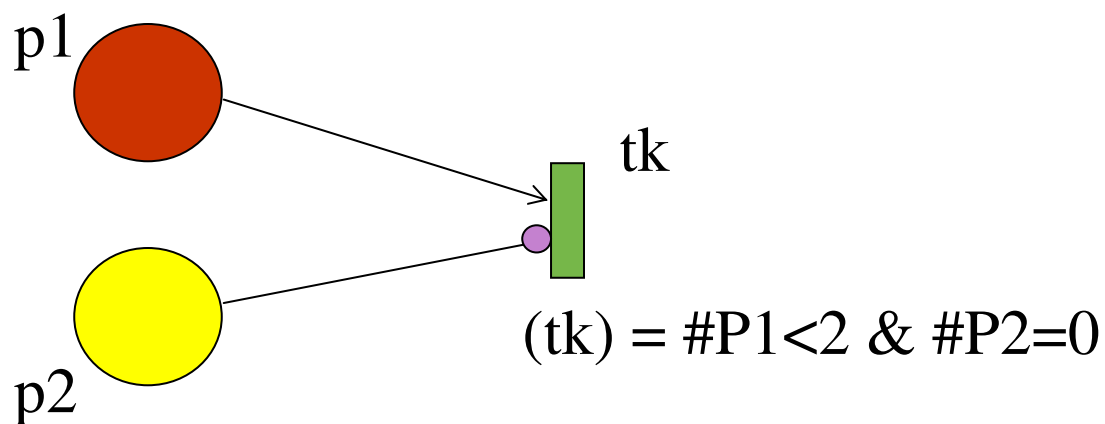
شبکه‌های پتری رنگی (ادامه)



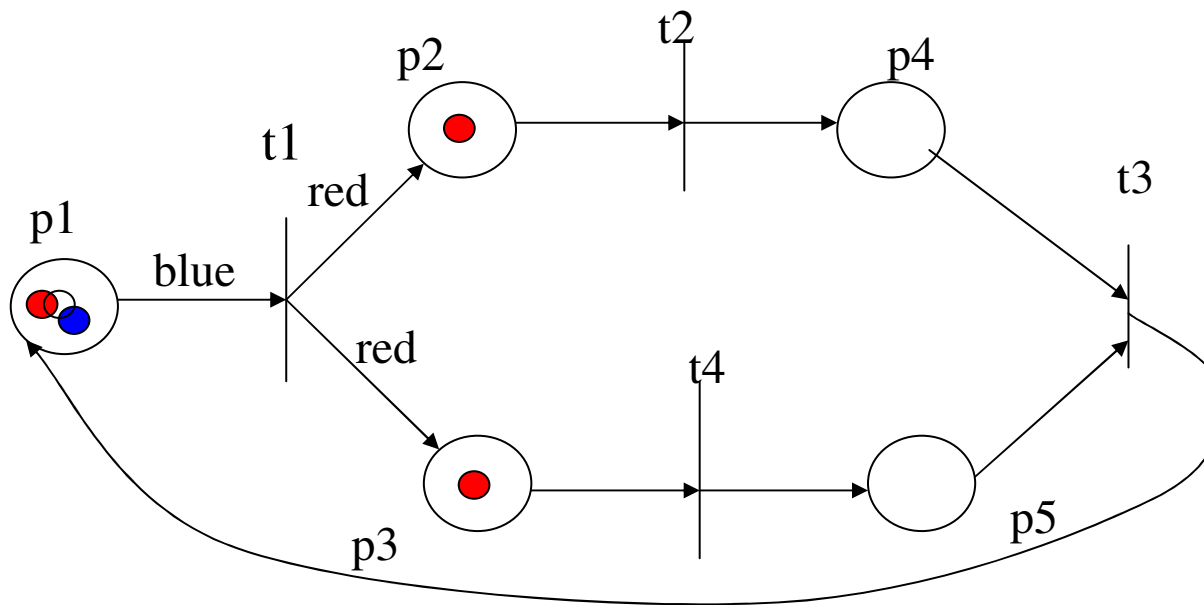
- گارد (*Guard*)، یک عبارت بولی است که به یک انتقال منتسب می‌شود و شرایطی برای فعال شدن کمان ورودی ایجاد می‌نماید
- در شبکه پتری رنگی هر یک از مکان‌ها، کمان‌ها و انتقالات می‌توانند بسته به رنگی که دارند، دارای گارد مخصوص به خود باشند

شبکه‌های پتری رنگی (ادامه)

وقتی حاصل گارد «درست» باشد، عملیات انجام می‌شود



نمونه شبکه پتری رنگی



زمان در شبکه پتری



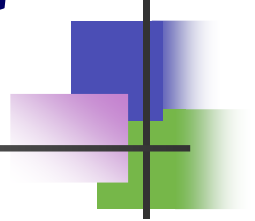
- می توان به هر نشانه، **مقداری زمانی** منتسب کرد، که به این مقدار زمانی زمانمهر (*Timestamp*) گفته می شود
- **زمانمهر** بیانگر اولین زمانی است که پس از برآورده شدن ورودی ها، نشانه می تواند شلیک شود
- وقتی انتقال در حالت **آماده** است که **زمان** نشانه های مکان های ورودی انتقال **کوچکتر** و یا مساوی با زمان فعلی باشند و وقتی این **زمان بیشتر** باشد، شلیک انجام می شود

زمان در شبکه پتری (ادامه)



- شبکه‌های پتری تصادفی (stochastic) گونه خاصی از شبکه‌های پتری زمانی هستند که زمان آنها یک متغیر تصادفی است
- نسخه‌های متفاوتی از شبکه‌های پتری تصادفی وجود دارند که برای مدلسازی در تئوری صف‌ها (Queue Theory) مورد استفاده قرار می‌گیرند

کاربرد شبکه پتری در مهندسی نرم افزار



- برای ارزیابی محصولات مهندسی نرم افزار مانند نمودار مورد کاربری، ترتیبی، فعالیت می توان از شبکه های پتری استفاده نمود
- شبکه پتری می تواند برای اغلب نمودارهای UML بکار گرفته شود
- محصولات UML با اجرای الگوریتم هایی به شبکه پتری تبدیل می شوند
- خصوصیات کیفی کارایی و قابلیت اطمینان از جمله مهمترین خصوصیات هستند که با تبدیل نمودارها به شبکه پتری به صورت کمی مورد ارزیابی قرار گیرند

کاربرد شبکه پتری ... (ادامه)



- یافته‌های پژوهش‌هایی که در زمینه تبدیل نمودارهای UML به شبکه پتری صورت گرفته است
- برای ارزیابی کارایی و قابلیت اطمینان، اطلاعات اضافی به توصیفات معماری اضافه می‌شود
- روش‌های کمی نتایج را به توصیفات معماری بازخورد می‌دهند
- بیشتر روش‌ها از سطح خودکارسازی بالایی برخوردار هستند
- بیشتر روش‌ها اجتماع مدل نرم‌افزار با مدل شبکه پتری را در سطح متوسط انجام می‌دهند

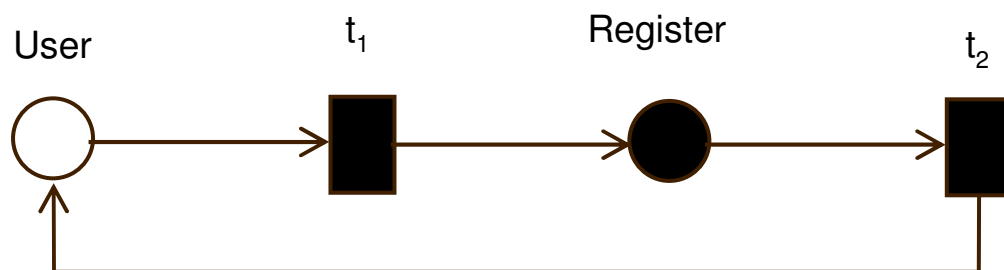
تبدیل نمودار موارد کاربری



- تبدیل هر یک از موارد کاربری و عامل‌ها
- هر کاربر و مورد کاربری به یک مکان نگاشت می‌شوند
- ورودی هر مکان، انتقالی با یک گارد است
- گارد شرط مربوط به صدا زدن مورد کاربری توسط کاربر را نشان می‌دهد
- یک انتقال برای برگشت نیز وجود دارد
- مکان مربوط به هر مورد کاربری با شبکه پتری حاصل از نمودار ترتیبی آن جایگزین می‌شود
- این مکان‌ها با دایره توپر نشان داده می‌شوند، تا از سایر مکان‌ها مجزا شوند

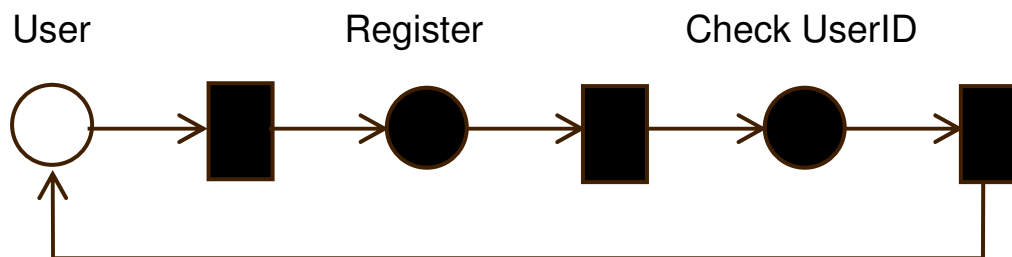
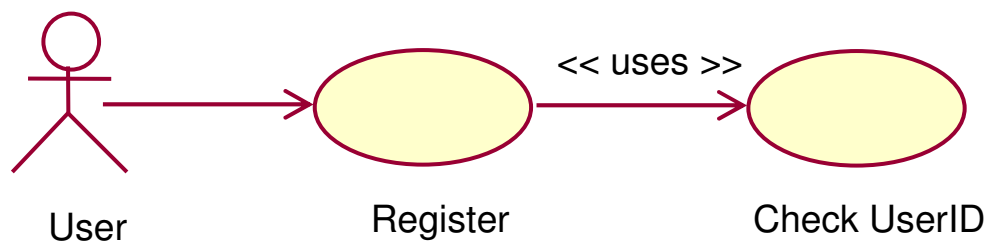
تبدیل نمودار موارد کاربری (ادامه)

■ نمونه تبدیل مورد کاربری به شبکه پتری



تبدیل نمودار موارد کاربری (ادامه)

■ نمونه تبدیل رابطه Uses



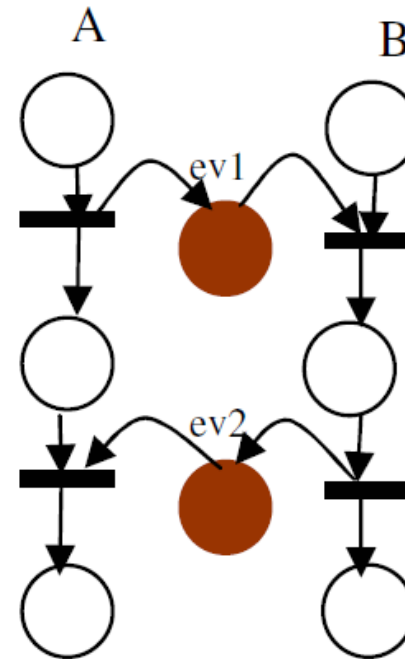
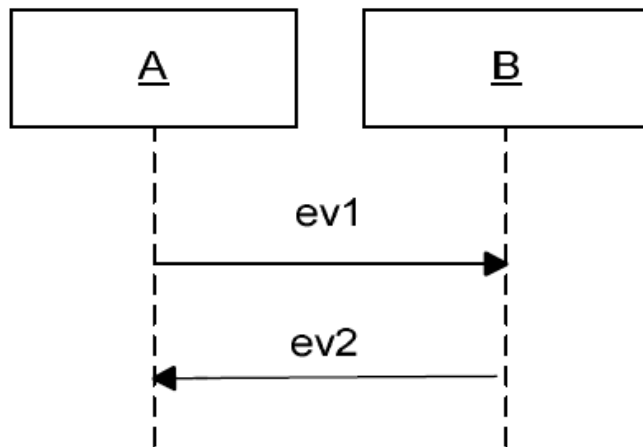
تبدیل نمودار ترتیبی



- به ازای هر پیام موجود در نمودار ترتیبی، مولفه های فرستنده و گیرنده آن به یک زیرسیستم شبکه پتری تبدیل می شوند
 - تبدیل پیام های ناهمگام
 - تبدیل پیام های همگام
- شبکه های پتری حاصل، مطابق با ترتیب و ارتباط بین پیام ها ادغام می شوند
- در نهایت برای شبکه پتری حاصل، نشانه گذاری اولیه انجام شود

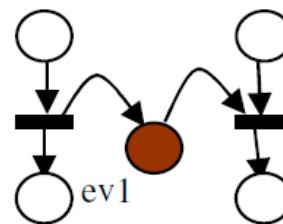
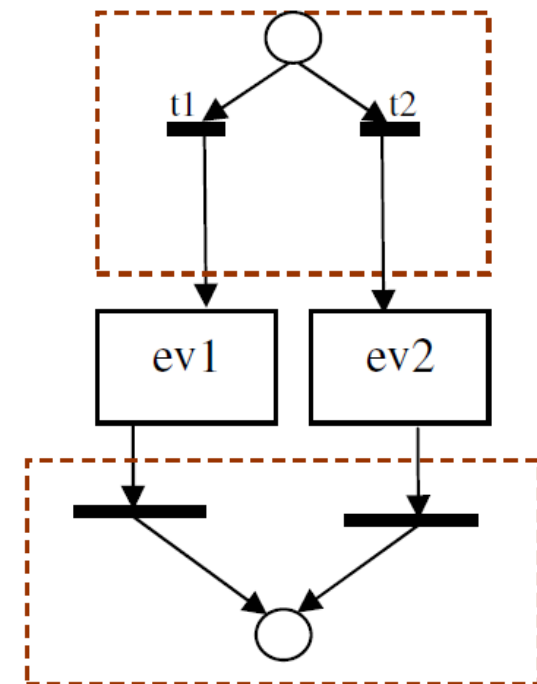
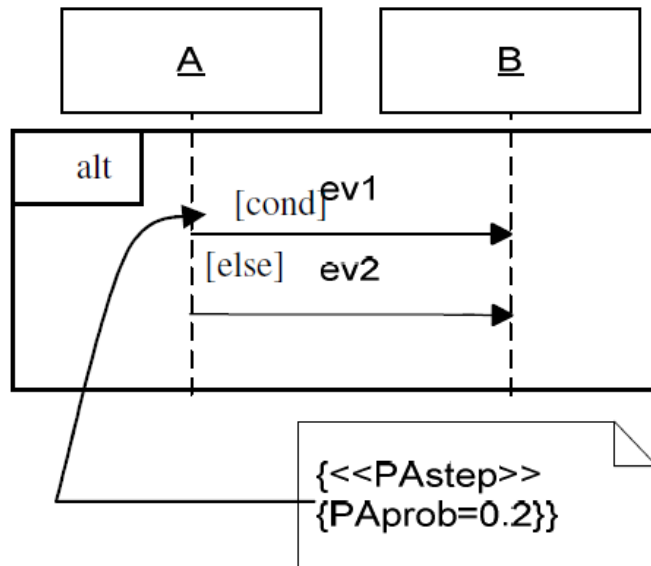
تبدیل نمودار ترتیبی (ادامه)

ساختار ترتیب



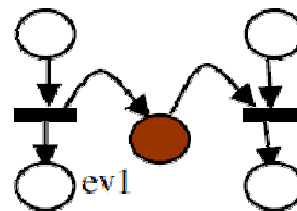
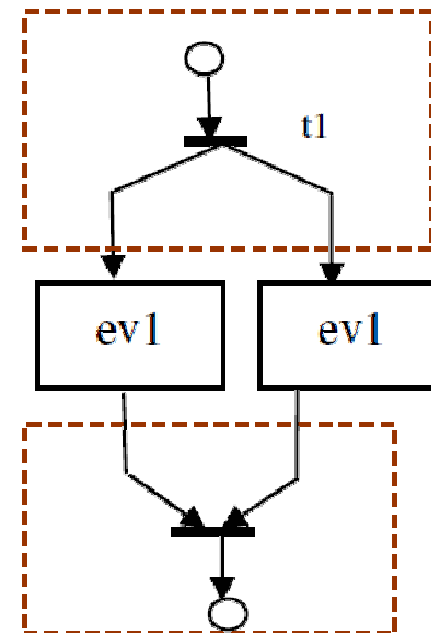
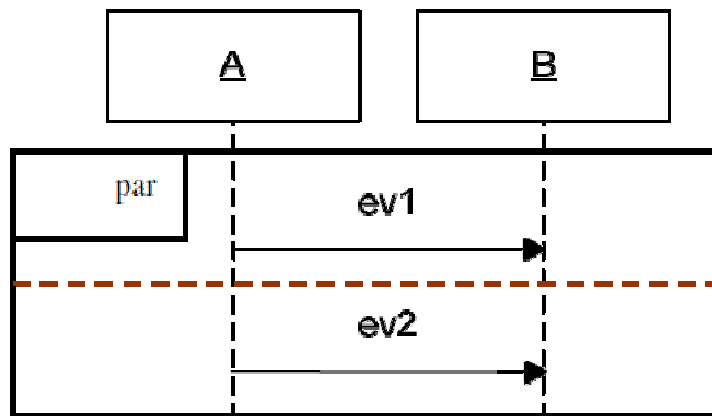
تبدیل نمودار ترتیبی (ادامه)

ساختار انتخاب



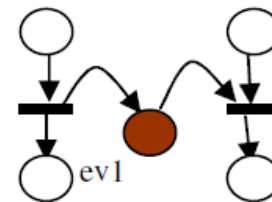
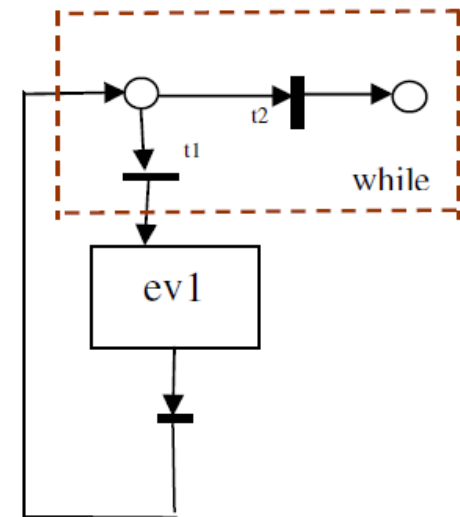
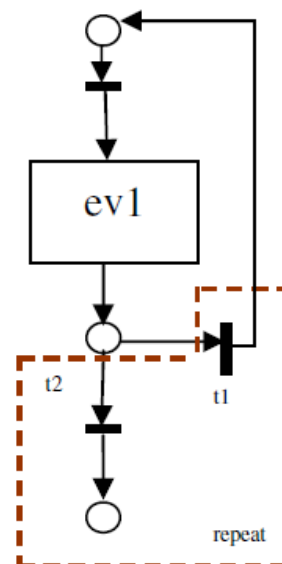
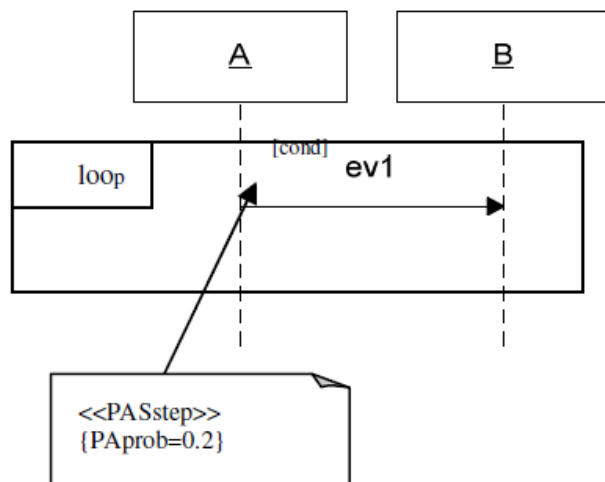
تبدیل نمودار ترتیبی (ادامه)

ساختار توازی

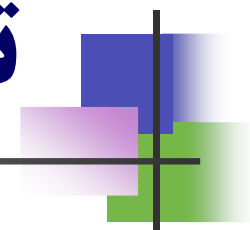


تبدیل نمودار ترتیبی (ادامه)

ساختار تکرار



تبدیل نمودار مولفه



- هر یک از **مولفه‌ها** به صورت مجزا به شبکه پتری تبدیل می‌شوند
- شبکه‌های پتری حاصل مطابق با **نوع ارتباط بین مولفه‌ها** با هم ترکیب می‌شوند
- رفتار هر مولفه با **عبارت مسیر** (*Path expression*) نشان داده می‌شود
 - ترتیب میان عملیات یک مولفه
 - فرض بر این است که کلیه عملیات انجام شده بوسیله هر مولفه، ترتیب فراخوانی آنها و دفعات اجرا و انتخاب این عملیات مشخص است
- در نهایت برای شبکه پتری حاصل، **نشانه‌گذاری اولیه** انجام شود

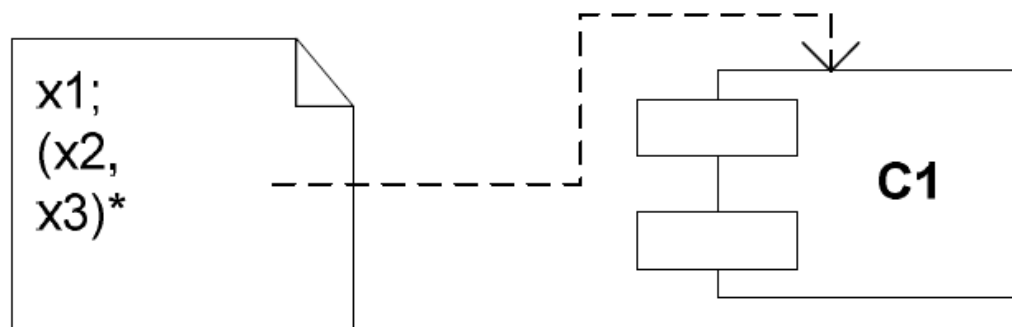
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

■ عملگرهای عبارت مسیر

؛	ترتیب اجرای عملیات عملگر
،	انتخاب یک عمل از بین مجموعه‌ای از عملیات
+	تکرار یک یا بیشتر عملیات و عملگر
*	تکرار صفر یا بیشتر عملیات و عملگر
	اجرای موازی عملیات
()	عملگر مورد نظر بر کل عملیات داخل پرانتز اعمال می‌شود

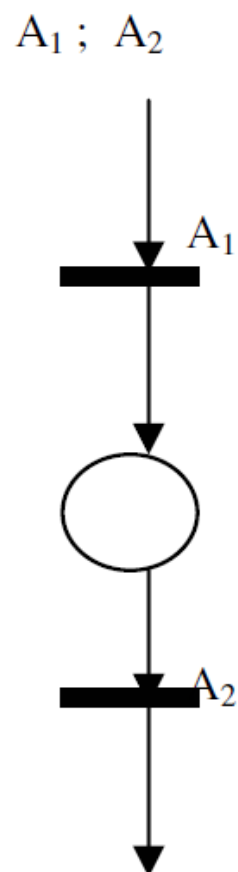
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

- نمونه‌ای از نمودار مولفه پالایش شده با عبارات مسیر
- رفتار مولفه به نمودار مولفه اضافه شده است



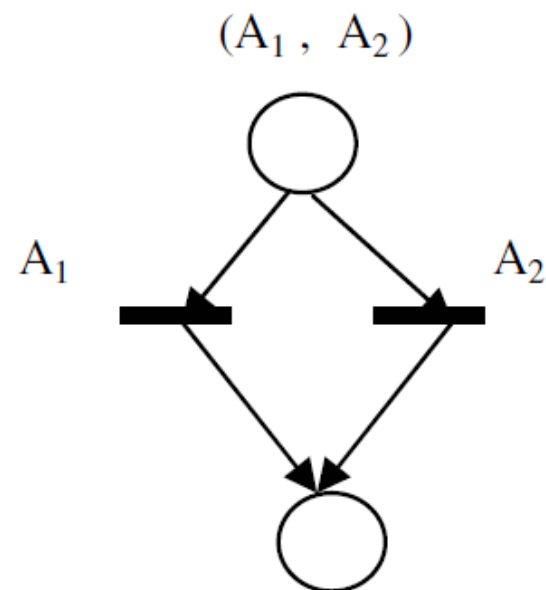
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

■ ساختار ترتیب (عملگر ؛)



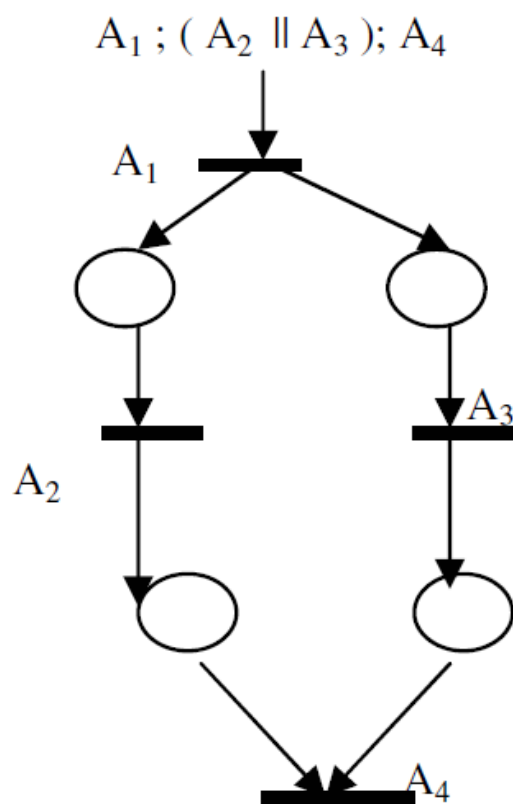
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

انتخاب (عملگر،)



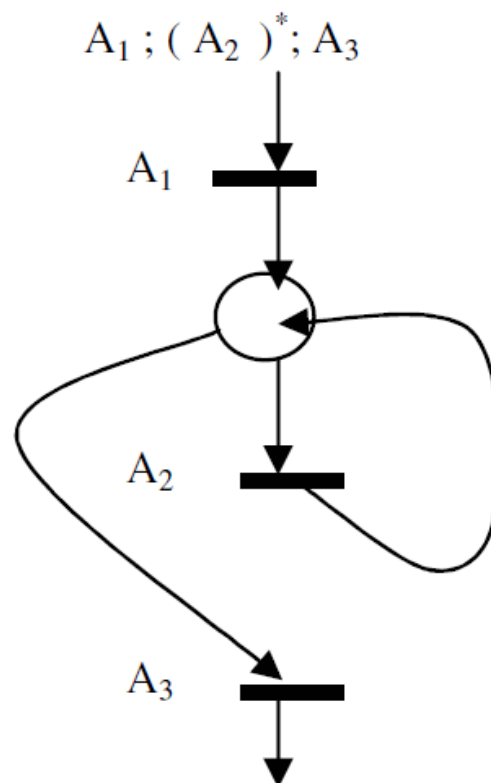
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

■ ساختار موازی (عملگر $||$)



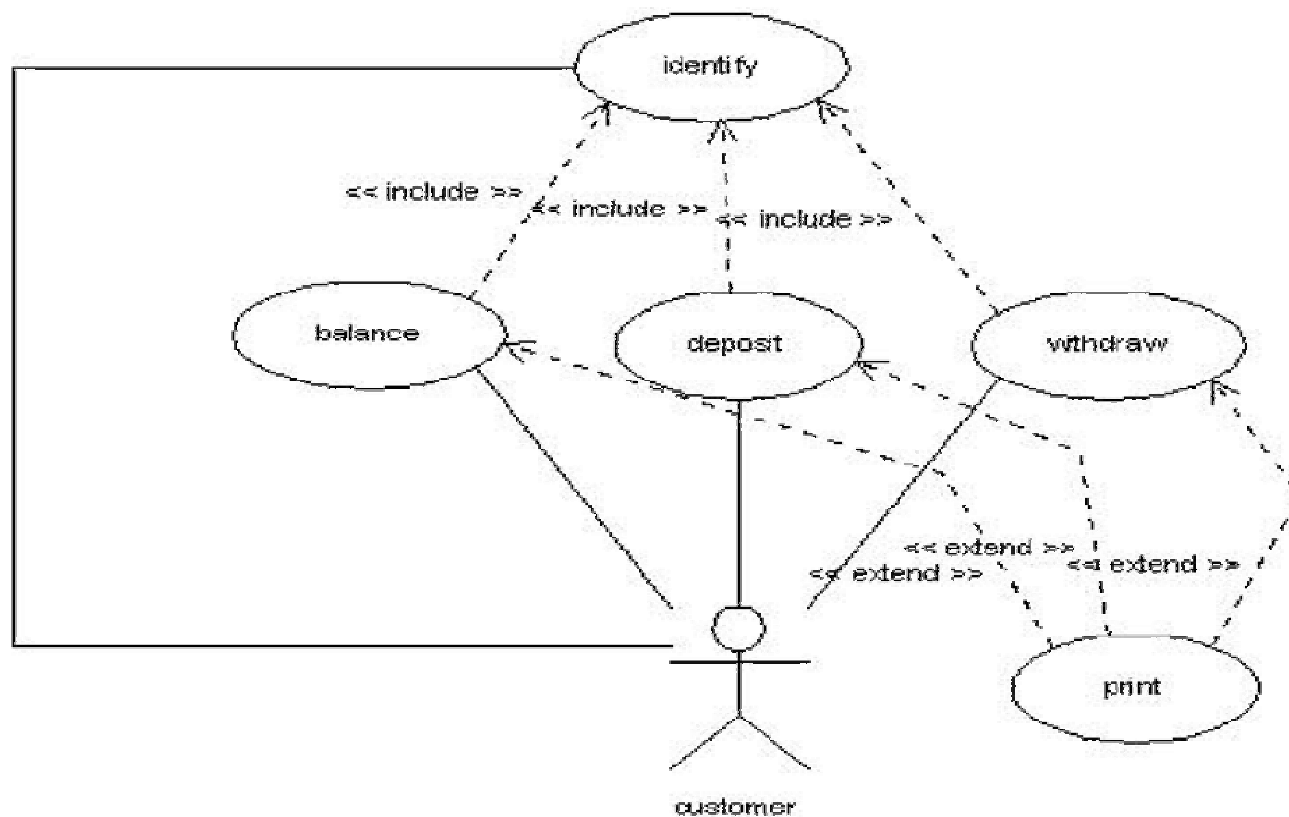
تبدیل نمودار مولفه به شبکه پتری (ادامه)

■ ساختار تکرار (عملگر *)



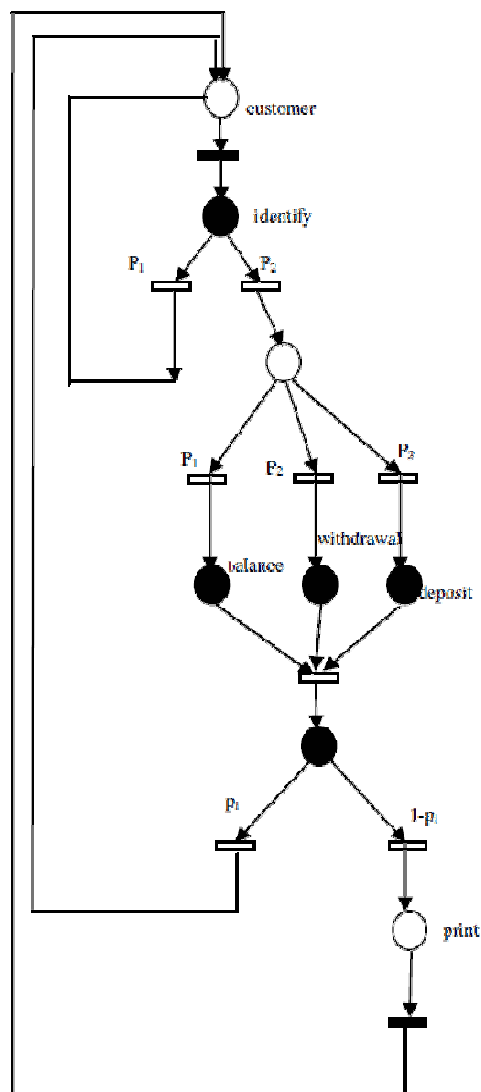
مثال ATM

■ نمودار موارد کاربری



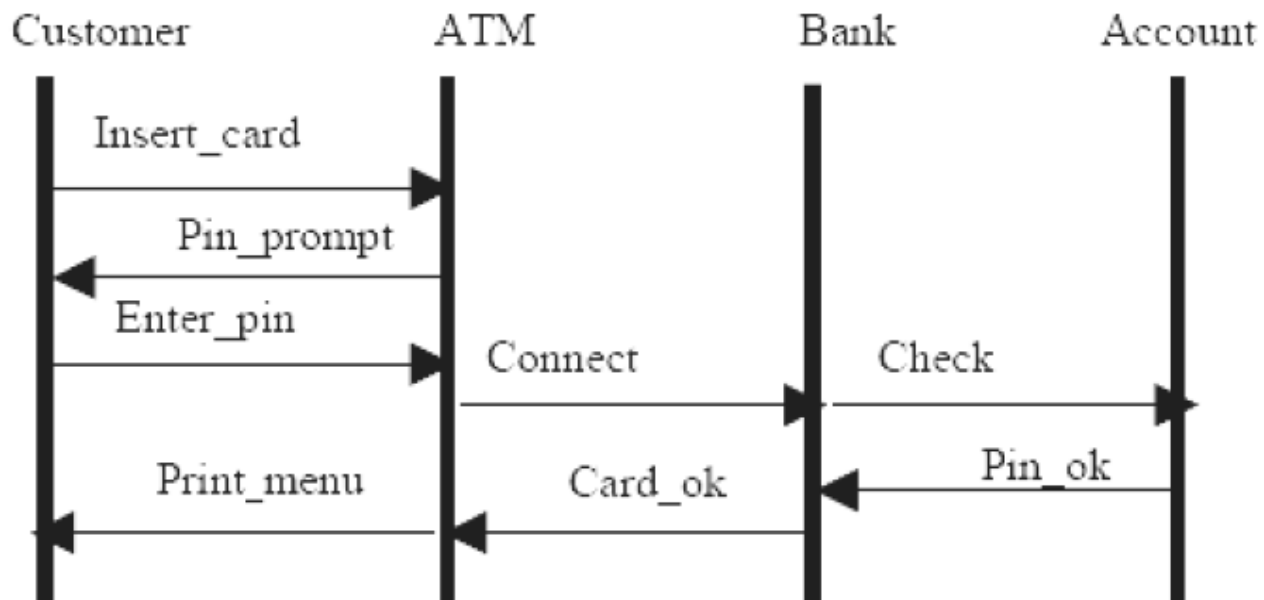
مثال ATM (ادامه)

شبکه پتری معادل نمودار موارد کاربری



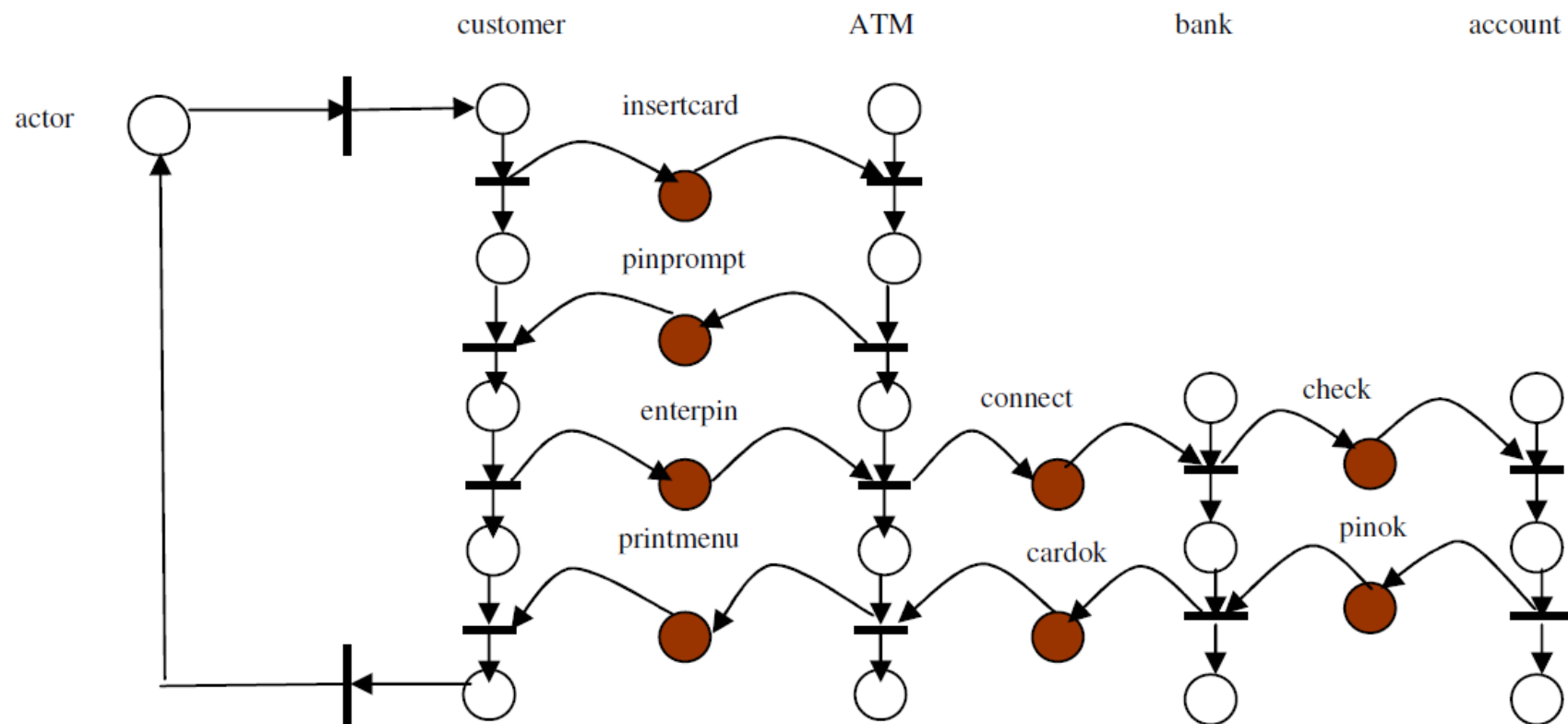
مثال ATM (ادامه)

نمودار ترتیبی



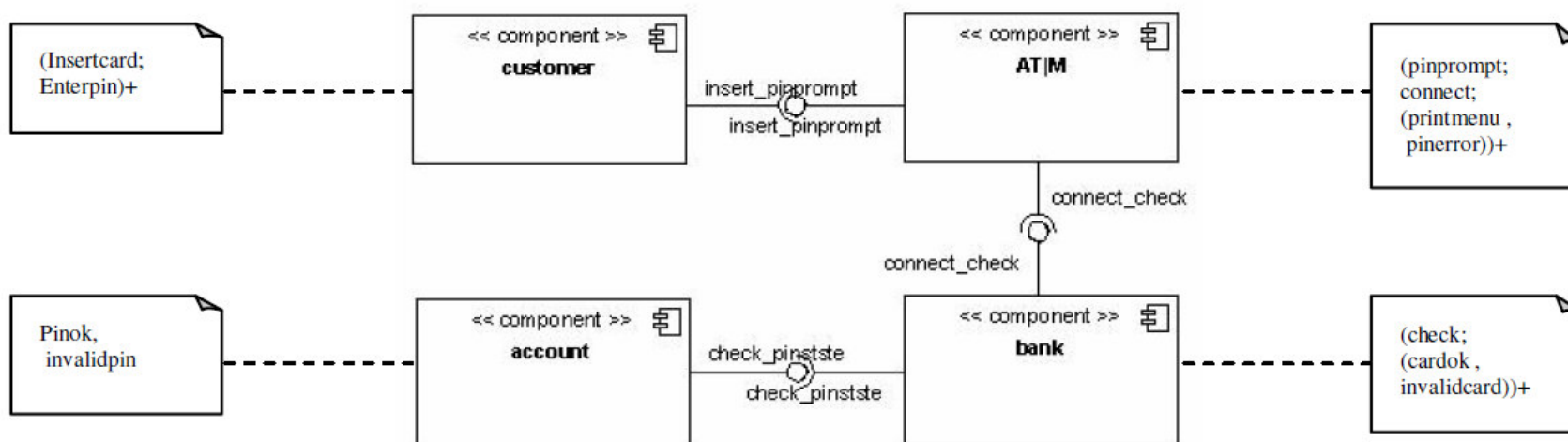
مثال ATM (ادامه)

شبکه پتری معادل نمودار ترتیبی



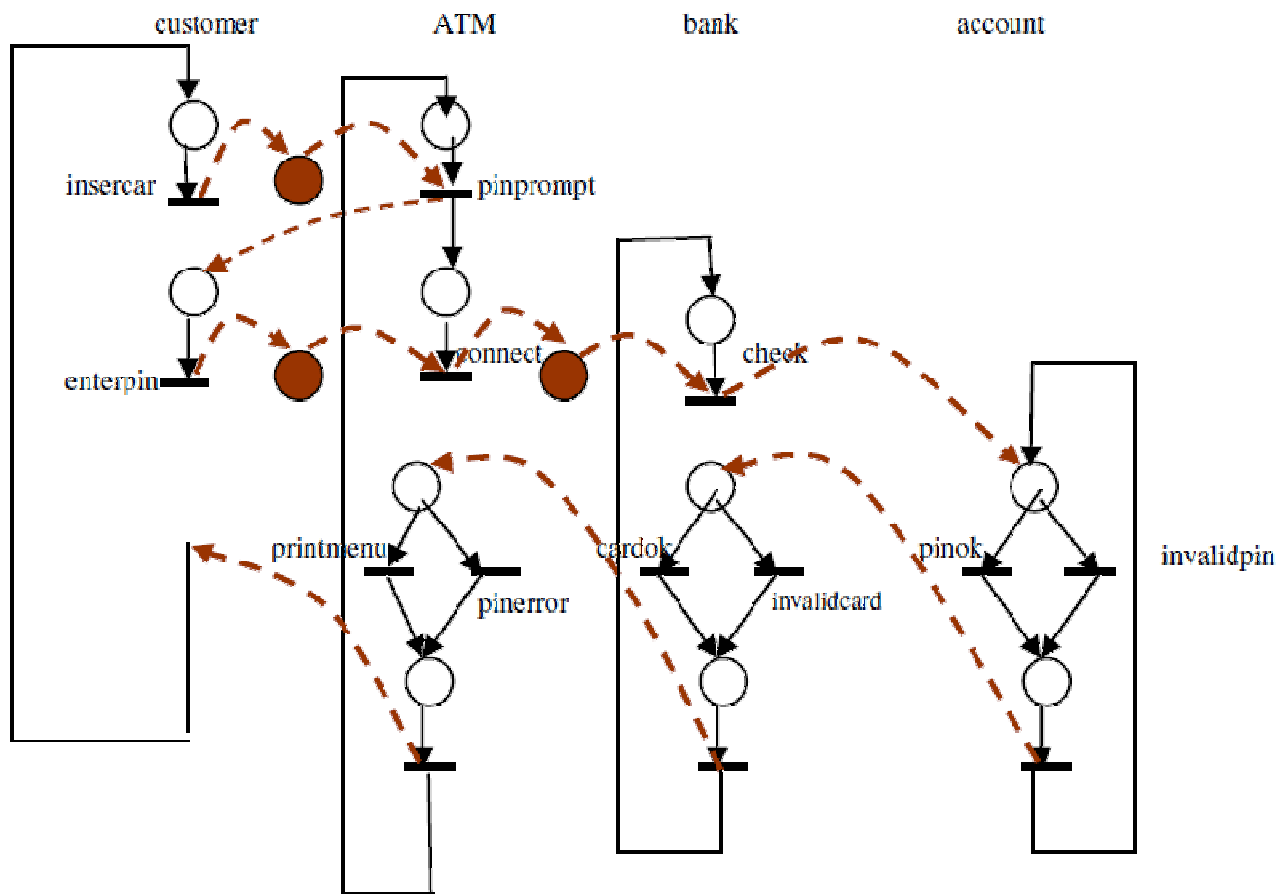
مثال ATM (ادامه)

■ نمودار مولفه پالایش شده با عبارت مسیر



مثال ATM (ادامه)

شبکه پتری معادل با نمودار مولفه



کاربرد شبکه پتری در مدلسازی فرآیند



- مزایای استفاده از شبکه‌های پتری در نمایش رفتار فرآیند

- بیان صریح حالات و عملیات فرآیند

- ارائه یک مدل اجرایی از فرآیند با استفاده از شبکه پتری

- نمایش دقیق پیش‌شرط‌ها و پس‌شرط‌های عملیات

- مدلسازی ساده‌تر و دقیق‌تر

- قابلیت ارزیابی و رفع مشکلات