دانشکده مهندسی کامپیوتر

عنوان درس:

ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری

Performance Evaluation of Computer Systems (PECS)

جلسه ۲: مبانی مدل‌سازی و ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری

مدرس:

محمد عبداللهی ازگمی

(Mohammad Abdollahi Azgomi)

azgomi@iust.ac.ir

فهرست مطالب

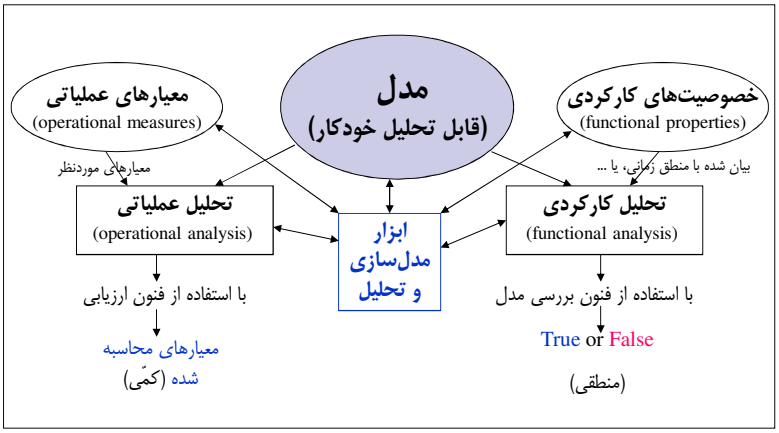
- تعریف مدل‌سازی
  - فنون مدل‌سازی
- درستی‌یابی (verification)
- ارزیابی کمّی (quantitative evaluation) و روشهای آن
- ارزیابی کارایی (performance evaluation):
  - معیارهای کارایی
  - روشهای ارزیابی کارایی
- ارزیابی اتکاء پذیری (dependability evaluation):
  - معیارهای اتکاءپذیری
  - روشهای ارزیابی اتکاءپذیری
- ارزیابی انجام‌پذیری (performability evaluation):
  - معیارهای انجام‌پذیری
  - روشهای ارزیابی انجام‌پذیری
- ارزیابی امنیت (security evaluation)
- کاربردهای مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها

مدل‌سازی چیست؟

- **مدل‌سازی (modeling)، ساخت نمونه مجردی (abstract) از سیستم‌ها است به‌صورتی که قابلیت مطالعه (study) و تحلیل (analysis) آن فراهم شود.**
- **مدل‌سازی یکی از مهمترین گامهای تحلیل، طراحی و ساخت سیستم‌ها است:**
  - **برای تعیین مشخصات طرح‌ها (specification)،**
  - **در گام طراحی به منظور:**
    - **تحلیل ساختارهای ایستا** (static structures)، نظیر سلسله‌مراتب اجزاء سیستم،
    - **تحلیل رفتارهای پویا** (dynamic behaviors): شامل تحلیل کارکردها (functionalities) (جنبه‌های منطقی) و عملیات (operations) (جنبه‌های وابسته زمان).
- **مدل‌سازی با توجه به اهداف مطالعه و تحلیل، در سطوحی از تجرید انجام می‌شود.**

اهداف مدل‌سازی

- **مدل‌سازی به منظور تحلیل جنبه‌های مختلف سیستم‌ها انجام می‌شود:**

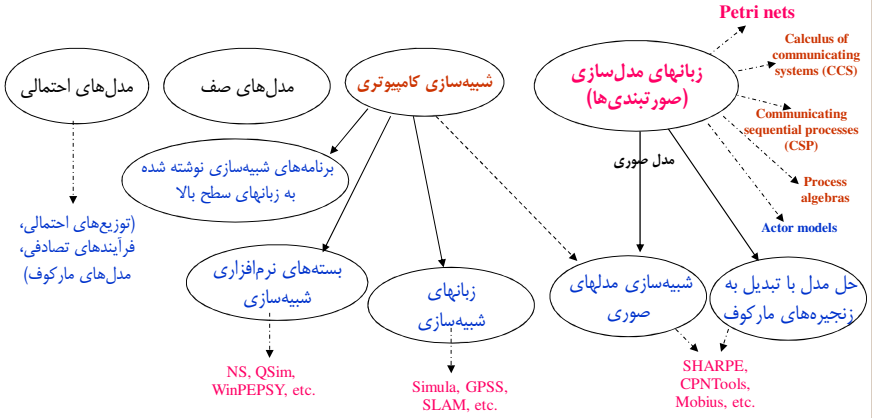


فنون مدل‌سازی

- مدل‌سازی با فنون تحلیلی (analytic techniques)، شبیه‌سازی (simulation) و تلفیقی (hybrid) امکان‌پذیر است.
- در فنون تحلیلی با استفاده از ابزار ریاضیات یا روشهای صوری (formal methods) (مبتنی بر ریاضیات) مدل‌سازی انجام می‌شود:
  - برخی از این فنون منجر به راه‌حل‌های شکل بسته (closed-form solutions) می‌شوند و فرمول‌هایی برای محاسبه معیارها حاصل می‌شود (مثل سیستم‌های صف).
  - یا آنکه با روشهای عددی قابلیت تحلیل خودکار را دارند (مانند زنجیره‌های مارکوف (Markov chains)).
- در روش شبیه‌سازی، نمونه‌ای از سیستم به صورت فیزیکی یا منطقی(در شبیه‌سازی کامپیوتری) ساخته شده و تحلیل بر روی آنها انجام می‌شود.
- اما در روش تلفیقی، بخشهایی از سیستم به‌صورت تحلیلی و بخشهای دیگر با شبیه‌سازی مدل شده و نتایج آنها با هم ترکیب می‌شوند.

فنون مدل‌سازی

- روشها، فنون و زبانهای متفاوتی برای مدل‌سازی سیستم‌ها معرفی شده است:



زبانهای مدل‌سازی صوری

- **فرمالیسم یا صورت‌بندی: یک زبان صوری برای توصیف مدل‌ها (مبتنی بر نوعی از ریاضیات) است.**
  - ***Formalism*:** a formal language for expressing models, based on a kind of mathematics.
- **مدل‌های توصیف‌شده بوسیله یک صورت‌بندی امکان تحلیل خودکار به کمک ابزارهای (tools) کامپیوتری را دارند.**
- **مثالهایی از این صورت‌بندیها عبارتند از:**
  - **شبکه‌های پتری (Petri nets) یا**
  - **جبرهای فرآیندی (Process algebras)**

اهداف تحلیل

- **تحلیل (مدل ساخته شده) با اهداف زیر انجام می‌شود:**
  - **درستی‌یابی (verification) جنبه‌های کارکردی (functional aspects)، یا**
  - **ارزیابی (evaluation) جنبه‌های عملیاتی (operational aspects).**

درستی‌یابی

- درستی‌یابی، برای تحلیل جنبه‌های کارکردی یا منطقی سیستم‌ها به‌کار می‌رود و در آن درستی (true) یا نادرستی (false) مطرح است.
  - درستی‌یابی، اثبات درستی سیستم با روشهای صوری و ریاضی است.
- فایده درستی‌یابی چیست؟
  - درستی‌یابی می‌تواند اطمینان بیشتری را نسبت به روش آزمون فراهم نماید. چرا؟
- درستی‌یابی ممکن است که بر روی مدل انجام شود که به آن بررسی مدل (model checking) گفته می‌شود.
- اغلب برای بررسی مدل از یک روش صوری برای بیان خصوصیت‌های (properties) سیستم‌های مدل‌شده استفاده می‌شود. نظیر: منطق زمانی (temporal logic)
- روشهایی دیگر درستی‌یابی مثل اثبات صوری درستی هم وجود دارند. (formal proof of correctness)

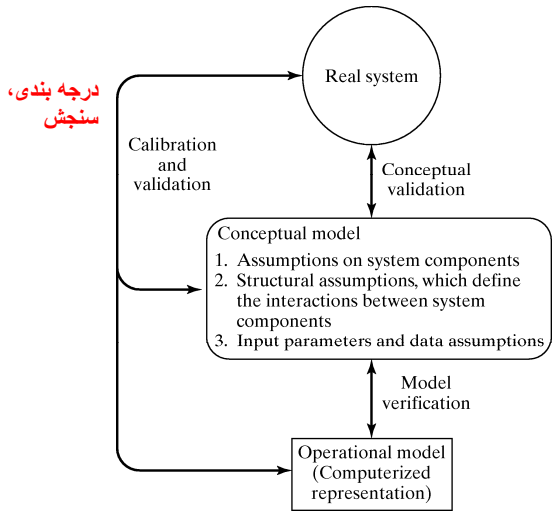
درستی‌یابی و اعتبارسنجی

- بیشتر اوقات در کنار کلمه درستی‌یابی، کلمه اعتبارسنجی هم استفاده می‌شود:
  - V&V: verification & validation
- درستی‌یابی: آیا سیستم، درست ساخته شده است؟
- اعتبارسنجی: آیا سیستمِ درست، ساخته شده است؟

درستی‌یابی و اعتبارسنجی

- **The PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) guide, a standard adopted by IEEE, defines:**
  - **Verification**. The evaluation of whether or not a product, service, or system complies with a regulation, requirement, specification, or imposed condition.
    - It is often an **internal process**. Contrast with *validation*.
  - **Validation**. The assurance that a product, service, or system meets the needs of the customer and other identified stakeholders.
    - It often involves acceptance and suitability with **external customers**. Contrast with *verification*.

فرآیند مدل‌سازی، درستی‌یابی و اعتبارسنجی



ارزیابی (evaluation)

- **ارزیابی کیفی (qualitative evaluation):**
  - مرتبه کیفیت سیستم را مشخص می‌کنیم: خوب، متوسط، بد...
  - بر اساس یک چک‌لیست انجام می‌شود.
  - کلمه انگلیسی Assessment بیشتر برای همین منظور استفاده می‌شود.
  - برخی جنبه‌ها (نظیر کاربرپسند بودن سیستم) اساساً کیفی هستند.
- **ارزیابی کمّی (quantitative evaluation):**
  - یک مقدار عددی یا کمیت (quantity) برای کیفیت سیستم مشخص می‌شود.
  - گاهی اوقات لازم است که معیارهای کیفی را را کمی‌سازی (quantification) کنیم.

ارزیابی کمّی (quantitative evaluation)

- ارزیابی بوسیله فنون کمّی (quantitative) برای تحلیل جنبه‌های عملیاتی و وابسته به زمان و به‌دست‌آوردن معیارهایی در باره رفتار سیستم انجام می‌شود، از جمله در باره موارد زیر:
  - کارایی (performance)،
  - اتکاءپذیری (dependability)،
  - انجام‌پذیری (performability) و
  - امنیت (security)

روشهای ارزیابی کمّی

- **سه روش ارزیابی کمّی عبارتند از:**

1) **اندازه‌گیری (measurement):** بر روی سیستم واقعی انجام می‌شود و نیازمند تحلیل‌های آماری داده‌های جمع‌آوری شده از رفتار سیستم است؛
2) **روشهای حل تحلیلی (analytic solution methods):** با حل مدل ساخته‌شده نظیر حل دستگاه معادلات متناظر با حالت پایدار (steady-state) یک زنجیره مارکوف یا سایر روشهای تحلیلی میسر می‌شود؛ و
3) **شبیه‌سازی کامپیوتری:** با اجرای مدل ساخته‌شده (در قالب یک برنامه شبیه‌سازی یا یک مدل شبکه پتری) و انجام اندازه‌گیری بر روی مدل همراه است.

ارزیابی کارایی (Performance Evaluation)

- **در فرهنگ لغات استاندارد اصطلاحات مهندسی نرم‌افزار IEEE، اصطلاح کارایی به‌صورت زیر تعریف شده است:**
  - **کارایی یک سیستم بیان‌گر این است که تحت محدودیت‌های موجود، از قبیل سرعت، دقت یا میزان حافظه مورد استفاده، آن سیستم تا چه حد و با چه کیفیتی وظیفه و عملکرد خود را انجام می‌دهد.**
- **به طور کلی، معیارهای کارایی مرتبط با سه موضوع اساسی زیر هستند:**
  - **اینکه وظایف در سیستم با چه سرعتی انجام می‌شوند،**
  - **اینکه سیستم تا چه حد می‌تواند در مقابل خرابی‌ها و با شرایط غیرمعمول کنار بیاید، و**
  - **اینکه کارایی استفاده از منابع موجود در سیستم چقدر است.**

ارزیابی کارایی (Performance Evaluation)

- **در مورد سیستم‌های کامپیوتری معیارهای کارایی زیر مورد نظرند:**
  - زمان پاسخ (response time)،
  - عامل بهره‌وری(utilization factor) یا
  - گذردهی یا توان عملیاتی (throughput)
- **یا معیارهای کارایی زیر در سیستم‌های ارتباطی مهم هستند:**
  - تأخیر(delay) یا
  - اتلاف بسته (packet-loss)

معیارهای کارایی

- **دو دسته معیارهای مهم که ارتباط مستقیم با کارکرد سیستم دارند عبارتند از:**
  - **معیارهای سرعت پاسخ‌دهی(responsiveness):** این معیارها سرعت اجرای عملیات در سیستم را نشان می‌دهند.
    - زمان انتظار، زمان پردازش، و طول صف نمونه‌هایی از این معیارها هستند.
    - در حالتهای مختلف ممکن است مقادیر میانگین، حداکثر، یا حداقل این معیارها مورد نظر باشد.
  - **معیارهای سطح به‌کارگیری(usage level):** این معیارها نحوه به‌کارگیری اجزاء مختلف سیستم را نشان می‌دهند.
    - توان عملیاتی و عامل بهره‌وری از جمله این معیارها هستند.
    - این دسته معیارها با معیارهای سرعت پاسخ‌دهی در تقابل هستند. زیرا سیستمی که سعی در به‌کارگیری بیشتر از منابع خود داشته باشد معمولاً زمان پاسخ‌دهی طولانی‌تری خواهد داشت.

روشهای ارزیابی کارایی

- معیارهای کارایی کارایی با **تحلیل حالت پایدار** مدل‌ها محاسبه می‌شوند.
  - زیرا مقادیر آنها در حالت پایدار سیستم و برای بلندمدت مورد نظر است.
- در مقابل، **تحلیل گذرا** (transient analysis) مطرح است که در ادامه درس معرفی خواهد شد و برای **ارزیابی اتکاءپذیری** و **انجام‌پذیری** مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روشهای ارزیابی کارایی

- **روشهای ارزیابی کارآیی عبارتند از:**

1) **مشاهده و اندازه‌گیری:** جمع‌آوری داده‌های عملیاتی سیستم و تحلیل آماری آنها برای محاسبه معیارهای کارایی استفاده می‌شود.
   - این روش ایده‌آل است. اما همیشه امکان‌پذیر نیست و ضمناً در فرآیند طراحی و ساخت سیستم‌ها قابل استفاده نیست.
2) **حل حالت پایدار** (steady-state solution): حل حالت پایدار در مورد رده‌هایی از مدل‌ها که قابلیت تبدیل به زنجیره‌های مارکوف (Markov chains) را دارند با حل عددی انجام می‌شود.
3) **شبیه‌سازی حالت پایدار** (steady-state simulation): اگر یک مدل با روش‌های تحلیلی قابل حل نباشد مجبور به استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری خواهیم بود.
   - برای این منظور اغلب از شبیه‌سازی گسسته–رخداد (discrete-event simulation) استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی حالت پایدار، مدل شبیه‌سازی قبل از جمع‌آوری داده‌های آماری برای مدتی اجرا می‌شود تا به حالت پایدار برسد.

تعریف اتکاءپذیری

- **تعریف اتکاءپذیری:**
  - اتکاءپذیری یک سیستم کامپیوتری بیان‌گر توانایی ارائه سرویس قابل اتکاء توسط آن سیستم است.
  - سرویس ارائه شده توسط یک سیستم رفتاری از سیستم است که از جانب کاربر(ان) آن مشاهده می‌شود.
  - کاربر سیستم، سیستم دیگری (انسان یا یک سیستم فیزیکی) است که از طریق واسط سیستم با آن تعامل می‌کند.

ارزیابی اتکاءپذیری

- در برخی مراجع و بر اساس تعریف جی. سی. لاپری (J.-C. Laprie)، اتکاءپذیری را شامل تمامی پارامترهای مربوط به کیفیت خدمت (QoS: quality of service) فراهم‌شده به‌وسیله یک سیستم در نظر می‌گیرند.
  - با این تعریف معیارهای کارایی و اتکاءپذیری هم جزء پارامترهای QoS محسوب می‌شوند.
- اما اغلب منظور از اتکاءپذیری تنها معیارهای مربوط به تحمل‌پذیری خطا (fault-tolerance)، نظیر قابلیت اطمینان (reliability)، قابلیت دسترسی (availability) یا ایمنی (safety) است که با تحلیل گذرا (transient analysis) به‌دست می‌آیند.

معیارهای اتکاءپذیری

- **قابلیت اطمینان:**
  - **قابلیت اطمینان یک سیستم بیان‌گر احتمال این است که تحت شرایط مشخص و تا زمان مشخصی، سیستم با خرابی (شکست) مواجه نشود.**
  - **قابلیت اطمینان تابعی از زمان به شکل $R(t)$ است واحتمال شرطی این است که سیستم در بازه زمانی $[t_0, t]$ درست کار کند، مشروط بر آنکه در لحظه t_0 درست کار می‌کرده است.**
- **در همین زمینه معیارهای دیگری نیز مطرح هستند که عبارتند از:**
  - میانگین زمان تا خرابی (MTTF: Mean-Time-To-Failure)،
  - میانگین زمان تا تعمیر (MTTR: Mean-Time-To-Repair) و
  - میانگین زمان بین خرابی (MTBF: Mean-Time-Between-Failure)
  - MTBF = MTTF + MTTR

معیارهای اتکاءپذیری

- **قابلیت دسترسی:**
  - **توانایی ارائه عملکرد صحیح در یک لحظه خاص و یا در طی یک دوره مشخص، قابلیت دسترسی آن سیستم گفته می‌شود.**
  - **قابلیت دسترسی تابعی از زمان به شکل $A(t)$ است که احتمال اینکه سیستم در یک لحظه زمانی مشخص برای انجام درست وظایف خود در دسترس باشد را نشان می‌دهد.**
  - **معمولاً قابلیت دسترسی به‌صورت کسر در دسترس بودن بیان می‌شود. یعنی چه کسری از یک بازه زمانی (در نظر گرفته شده یا توافق شده)، سیستم می‌تواند سرویس صحیح به مشتریان ارائه کند.**

معیارهای اتکاءپذیری

- **ایمنی**: تابعی از زمان به شکل S(t) است و احتمال اینکه سیستم یا درست کار کند یا خود را به حالتی ببرد که به محیط پیرامونش آسیب وارد نکند را نشان می‌دهد.
  - به این حالت ایمن به خرابی (fail-safe) گفته می‌شود.
- **قابلیت نگهداشت** (maintainability): تابعی از زمان M(t) است که احتمال اینکه یک سیستم خراب‌شده در یک بازه زمانی به طول t حالت عملیاتی خود را بازیابد را نشان می‌دهد.

ارزیابی انجام‌پذیری (performability evaluation)

- به بیان غیر رسمی، به کارایی در حضور خرابی (شکست)، تعمیر و بازیابی اجزای سیستم، انجام‌پذیری گفته می‌شود.
- تعریف: انجام‌پذیری نشان‌دهنده میزان کارایی تنزل‌پذیر (degradable) سیستم بوده و تابعی به شکل P(t, L) است که احتمال اینکه سیستم در لحظه t در سطح کارایی L یا بالاتر از آن باشد را نشان می‌دهد.
- در واقع انجام‌پذیری تلفیق جنبه‌های کارایی و اتکاءپذیری سیستم‌ها است:
  - *Performability = Performance + Dependability*
- هدف از ارزیابی انجام‌پذیری، تعیین کیفیت خدمت‌دهی سیستم‌ها است.
- ارزیابی انجام‌پذیری با مرتبط ساختن و تعیین کمّی نحوه اجرای یک سیستم خاص با در نظر گرفتن نحوه تأثیرپذیری کارکرد سیستم از خرابی‌ها (failures) انجام می‌شود.

معیارهای انجام‌پذیری

- **قابلیت دسترسی بازه‌ای(interval availability):** بخشی از زمان در بازه $[t_0, t]$ که سیستم عملیاتی بوده است.
- **کارایی تجمعی(cumulative performance):** کل کارهای انجام شده توسط سیستم در طی بازه $[t_0, t]$.
- **ظرفیت محاسباتی (computational capacity):** میانگین نرخ کار انجام شده توسط سیستم در طی بازه $[t_0, t]$.

- **این معیارها نیز مشابه معیارهای اتکاءپذیری با تحلیل یا شبیه‌سازی گذرای مدل‌ها قابل محاسبه‌اند.**

روشهای ارزیابی اتکاءپذیری و انجام‌پذیری

- **دو روش برای ارزیابی اتکاءپذیری و انجام‌پذیری وجود دارد:**
  - **حل گذرا (transient solution):** حل حالت گذرا برای یافتن تابع توزیع (distribution function) معیارهای اتکاءپذیری و انجام‌پذیری انجام می‌شود.
  - **شبیه‌سازی گذرا (transient simulation):** شبیه‌سازی حالت گذرا اساساً با شبیه‌سازی حالت پایدار تفاوت چندانی ندارد. در ارزیابی اتکاءپذیری و انجام‌پذیری مدل‌هایی حاصل می‌شوند که هرگز به حالت پایدار نمی‌رسند. بنابر این آمارهای تجمعی برای کل مدت شبیه‌سازی جمع‌آوری می‌شوند.

اتکاءپذیری و امنیت

- اغلب مراجع امنیت را شامل سه صفت زیر در نظر می‌گیرند:
  - محرمانگی (Confidentiality)
  - جامعیت (Integrity)
  - قابلیت دسترسی (Availability)
- یعنی: Security = CIA
- در ارزیابی امنیت، حملات امنیتی و خرابی‌های عمدی (intentional) در نظر گرفته می‌شود، در حالی که در ارزیابی اتکاءپذیری فرض بر این است که خرابی‌ها غیرعمدی (accidental) و تصادفی (random) هستند.

اتکاءپذیری و امنیت

- در شکل زیر صفات مربوط به اتکاءپذیری و امنیت یک سیستم آورده شده است – اتکاءپذیری شامل ۵ صفت و امنیت شامل ۳ صفت است:

معیارهای امنیتی

- **معیارهای امنیتی اصلی عبارتند از:**
  - MTTCC: mean time to confidentiality compromise
  - MTTIC: mean time to integrity compromise
  - MTTAC: mean time to availability compromise
  - MTTSC: mean time to security compromise
    - MTTSC = MTTCC+MTTIC+MTTAC
  - MTTSF: mean time to security failure
  - ASP: attack success probability
  - …..
- **برای محاسبه این معیارها نیاز به روشهای تحلیل گذرا داریم که البته هنوز این روشها به بلوغ نرسیده‌اند.**

کاربردهای مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها

- **طراحی سیستم (system design):** برای انتخاب پارامترهای مهم طراحی سیستم.
- **انتخاب سیستم (system selection):** برای انتخاب یک سیستم یا یک جزء از میان آلترناتیوهای موجود.
- **ارتقاء سیستم (system upgrade):** برای بررسی روشهای ارتقاء سیستم و نحوه تعویض بخشهایی از آن یا کل آن.
- **تنظیم سیستم (system tuning):** مثلاً برای بررسی تغییر سیاستها و افزایش یا کاهش منابع برای بهبود کارایی آن. قبل از آنکه بر روی سیستم واقعی عمل شود.
- **تحلیل سیستم‌ها (system analysis):** برای پیدا کردن گلوگاه‌های سیستم‌ها (bottlenecks) با تحلیل پارامترهای موثر در آن.

زمینه‌های کاربرد مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها

- سیستم‌های کامپیوتری
- شبکه و سیستم‌های ارتباطی
- سیستم‌های نرم‌افزاری
- سیستم‌های ساخت و تولید (manufacturing systems)
- اینترنت و سرویسهای وب
- سیستم‌های گردش کار (workflow systems)