



دانشگاه علم و صنعت ایران

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 کمی (quantitative evaluation) و روشهای آن
- ارزیابی کارایی (performance evaluation):
 - معیارهای کارایی
 - روشهای ارزیابی کارایی
- ارزیابی اتکاء پذیری (dependability evaluation):
 - معیارهای اتکاء پذیری
 - روشهای ارزیابی اتکاء پذیری
- ارزیابی انجام‌پذیری (performability evaluation):
 - معیارهای انجام‌پذیری
 - روشهای ارزیابی انجام‌پذیری
- ارزیابی امنیت (security evaluation)
- کاربردهای مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها

مدل سازی چیست؟

■ **مدل سازی (modeling)**، ساخت یک نمونه ساده شده یا مجرد (انتزاعی) (abstract) و فاقد جزئیات زیاد از سیستمها است به صورتی که قابلیت مطالعه (study) و تحلیل (analysis) فراهم شود.

■ مدل سازی یکی از مهمترین گامهای تحلیل، طراحی و ساخت سیستمها است:

□ برای تعیین مشخصات طرحها (specification).

□ در گام طراحی به منظور:

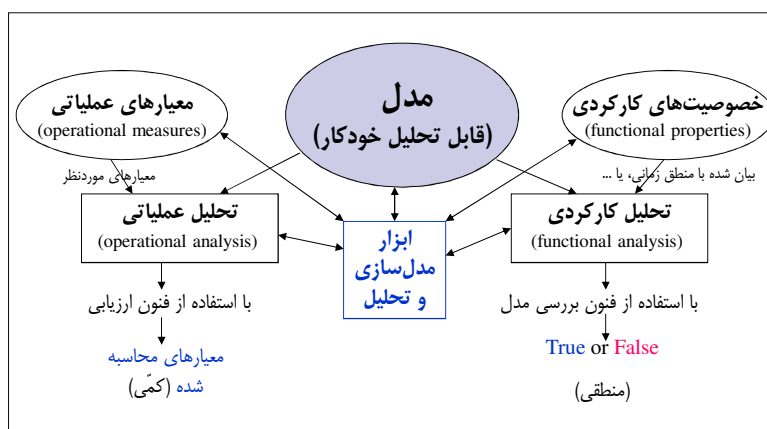
■ تحلیل ساختارهای ایستا (static structures)، نظیر سلسله مراتب اجزاء سیستم،

■ تحلیل رفتارهای پویا (dynamic behaviors): شامل تحلیل کارکردها (functionalities) (جنبه های منطقی) و عملیات (operations) (جنبه های وابسته زمان).

■ مدل سازی با توجه به اهداف مطالعه و تحلیل، در سطوحی از تجرید انجام می شود.

اهداف مدل سازی

■ مدل سازی به منظور تحلیل جنبه های مختلف سیستمها انجام می شود:

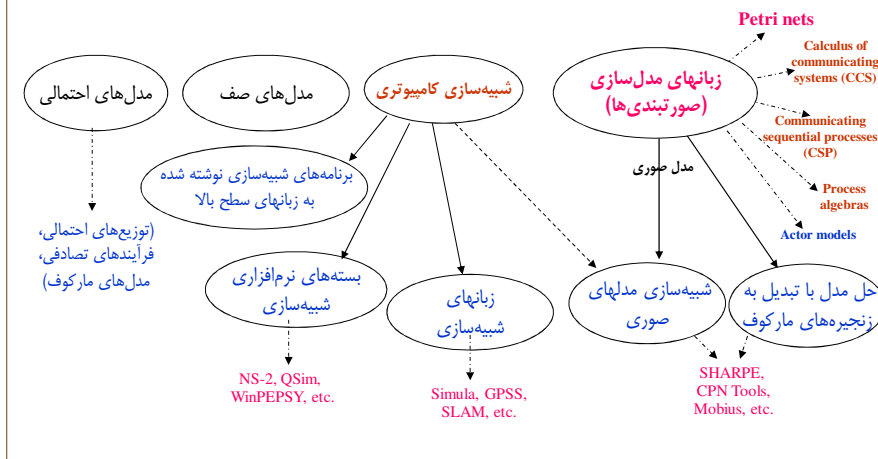


فنون مدل سازی

- مدل سازی با فنون **تحلیلی** (analytic techniques)، **شبیه سازی** (simulation) و **تلفیقی** (hybrid) امکان پذیر است.
- در فنون تحلیلی با استفاده از ابزار ریاضیات یا **روشهای صوری** (formal methods) (مبتنی بر ریاضیات) مدل سازی انجام می شود:
- برخی از این فنون منجر به **راه حل های شکل بسته** (closed-form solutions) می شوند و فرمول هایی برای محاسبه معیارها حاصل می شود (مثل سیستم های صف).
- یا آنکه با روشهای عددی قابلیت تحلیل خودکار را دارند (مانند زنجیره های مارکوف (Markov chains)).
- در روش شبیه سازی، نمونه ای از سیستم به صورت فیزیکی یا منطقی (در شبیه سازی کامپیوتری) ساخته شده و تحلیل بر روی آنها انجام می شود.
- اما در روش تلفیقی، بخشهایی از سیستم به صورت تحلیلی و بخشهای دیگر با شبیه سازی مدل شده و نتایج آنها با هم ترکیب می شوند.

فنون مدل سازی

- روشها، فنون و زبانهای متفاوتی برای مدل سازی سیستم ها معرفی شده است:



زبانهای مدل سازی صوری

■ فرمالیسم یا صورت بندی: یک زبان صوری برای توصیف مدل ها (مبتنی بر نوعی از ریاضیات) است.

□ **Formalism**: a formal language for expressing models, based on a kind of mathematics.

■ مدل های توصیف شده بوسیله یک صورت بندی امکان تحلیل خودکار به کمک ابزارهای (tools) کامپیوتری را دارند.

■ مثالهایی از این صورت بندیها عبارتند از:

□ شبکه های پتری (Petri nets) یا

□ جبرهای فرآیندی (Process algebras)

اهداف تحلیل

■ تحلیل (مدل ساخته شده) با اهداف زیر انجام می شود:

□ **درستی یابی** (verification) جنبه های کارکردی (functional aspects)، یا

□ **ارزیابی** (evaluation) جنبه های عملیاتی (operational aspects).

درستی یابی

■ درستی یابی، برای تحلیل جنبه های کارکردی یا منطقی سیستم ها به کار می رود و در آن درستی (true) یا نادرستی (false) مطرح است.

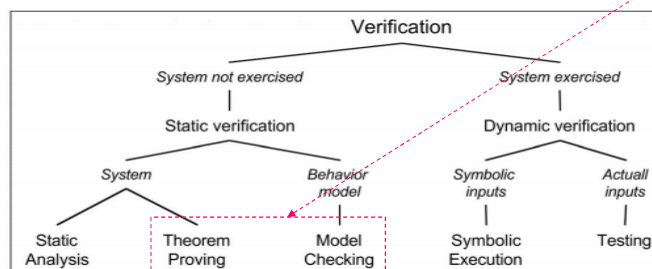
■ در مهندسی نرم افزار روش های مختلفی برای درستی یابی مطرح است:

□ آزمون نرم افزار (software testing)

□ بازبینی کد (code review)

□ درستی یابی صوری (formal verification)

□ ...



درستی یابی

■ درستی یابی صوری (formal verification) :

■ درستی یابی صوری، اثبات درستی سیستم با روشهای صوری و ریاضی است.

□ (formal proof of correctness)

■ فایده درستی یابی صوری چیست؟

□ درستی یابی صوری می تواند اطمینان بیشتری را نسبت به روش آزمون فراهم نماید. چرا؟

□ درستی یابی صوری ممکن است مبتنی بر مدل انجام شود که به آن **وارسی مدل** (model checking) گفته می شود.

□ اغلب برای واریسی مدل از یک روش صوری برای بیان خصوصیت های (properties) سیستم های مدل شده استفاده می شود. نظیر: **منطق زمانی** (temporal logic)

درستی‌یابی و اعتبارسنجی

- بیشتر اوقات در کنار کلمه درستی‌یابی، کلمه اعتبارسنجی هم استفاده می‌شود:

- **V&V: verification & validation**

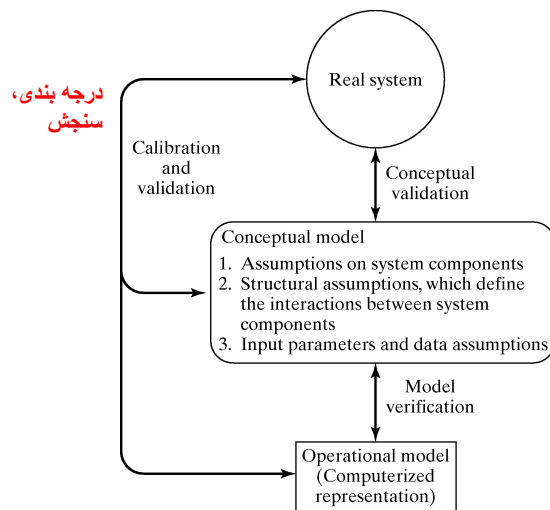
- درستی‌یابی: آیا سیستم، درست ساخته شده است؟
- اعتبارسنجی: آیا سیستم درست، ساخته شده است؟

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 مدل سازی، درستی یابی و اعتبار سنجی



CWM&S#1 - Fundamentals of M&A - By: M. Abdollahi Azgomi - IUST-CE

13

ارزیابی (evaluation)

■ ارزیابی کیفی (qualitative evaluation):

- ☐ مرتبه کیفیت سیستم را مشخص می کنیم: خوب، متوسط، بد...
- ☐ بر اساس یک چک لیست انجام می شود.
- ☐ کلمه انگلیسی Assessment بیشتر برای همین منظور استفاده می شود.
- ☐ برخی جنبه ها (نظیر کاربر پسند بودن سیستم) اساساً کیفی هستند.

■ ارزیابی کمی (quantitative evaluation):

- ☐ یک مقدار عددی یا کمیت (quantity) برای کیفیت سیستم مشخص می شود.
- ☐ گاهی اوقات لازم است که معیارهای کیفی را کمی سازی (quantification) کنیم.

PECS#1 - Fundamentals of PECS - By: M. Abdollahi Azgomi - IUST-CE

14

ارزیابی کمی (quantitative evaluation)

■ ارزیابی بوسیله فنون کمی (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 کمی

■ سه روش ارزیابی کمی 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 نرم افزار IEEE، اصطلاح کارایی به صورت زیر تعریف شده است:
 - کارایی یک سیستم بیان گر این است که آن سیستم تا چه حد و با چه کیفیتی وظیفه و عملکرد خود را انجام می دهد.
- معیارهای کارایی کمیت های میانگین دار هستند:
 - در سیستم های کامپیوتری معیارهای کارایی زیر مطرح هستند:
 - میانگین زمان پاسخ (mean response time)،
 - میانگین زمان انتظار (mean waiting time)
 - بهره وری (utilization)
 - گذردهی یا توان عملیاتی (throughput)
 - در شبکه های کامپیوتری معیارهای کارایی مهم عبارتند از:
 - تأخیر (delay)
 - اتلاف بسته (packet-loss)

معیارهای کارایی

- دو دسته معیارهای مهم که ارتباط مستقیم با کارکرد سیستم دارند عبارتند از:
 - معیارهای سرعت پاسخ دهی (responsiveness): این معیارها سرعت اجرای عملیات در سیستم را نشان می دهند.
 - زمان انتظار، زمان پردازش، و طول صف نمونه هایی از این معیارها هستند.
 - در حالت های مختلف ممکن است مقادیر میانگین، حداکثر، یا حداقل این معیارها مورد نظر باشد.
 - معیارهای سطح به کارگیری (usage level): این معیارها نحوه به کارگیری اجزاء مختلف سیستم را نشان می دهند.
 - توان عملیاتی و عامل بهره وری از جمله این معیارها هستند.
 - این دسته معیارها با معیارهای سرعت پاسخ دهی در تقابل هستند. زیرا سیستمی که سعی در به کارگیری بیشتر از منابع خود داشته باشد معمولاً زمان پاسخ دهی طولانی تری 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 کارایی 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 می شود.
- کاربر سیستم، سیستم دیگری (انسان یا یک سیستم فیزیکی) است که از طریق واسط سیستم با آن تعامل می کند.

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) فراهم شده به وسیله یک سیستم در نظر می گیرند.
- با این تعریف معیارهای کارایی و اتکاءپذیری هم جزء پارامترهای QoS محسوب می شوند.
- اما اغلب منظور از اتکاءپذیری تنها معیارهای مربوط به تحمل پذیری خطا (fault-tolerance)، نظیر قابلیت اطمینان (reliability)، قابلیت دسترسی (availability) یا ایمنی (safety) است که با تحلیل گذرا (transient analysis) به دست می آیند.

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 و احتمال شرطی این است که سیستم در بازه زمانی $[t_0, t]$ درست کار کند، مشروط بر آنکه در لحظه t_0 درست کار می کرده 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 می شود.
- 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 می دهد.
- معمولاً قابلیت دسترسی به صورت کسر در دسترس بودن بیان می شود. یعنی چه کسری از یک بازه زمانی (در نظر گرفته شده یا توافق شده)، سیستم می تواند 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 کمی نحوه اجرای یک سیستم خاص با در نظر گرفتن نحوه تأثیرپذیری کارکرد سیستم از خرابی‌ها (failures) انجام می‌شود.

معیارهای انجام پذیری

- 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 انجام پذیری

- دو روش برای ارزیابی اتکاءپذیری و انجام پذیری وجود دارد:

- حل گذرا (transient solution): حل حالت گذرا برای یافتن تابع توزیع (distribution function) معیارهای اتکاءپذیری و انجام پذیری انجام می‌شود.
- شبیه‌سازی گذرا (transient simulation): شبیه‌سازی حالت گذرا اساساً با شبیه‌سازی حالت پایدار تفاوت چندانی ندارد. در ارزیابی اتکاءپذیری و انجام پذیری 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 می گیرند:

□ 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)