

# ارزیابی کارایی سیستم

## آقای دکتر مهدی امینیان

علیرضا سلطانی نشان

۲۰ مهر ۱۴۰۳

### فهرست مطالب

۲	۱ تعاریف اولیه
۲	۱.۱ ابزارها و تکنیک‌های ارزیابی سیستم
۲	۲.۱ متریک‌ها یا معیارها
۲	۳.۱ مخاطبان ارزیابی
۳	۴.۱ طراحی سیستم یا System design
۳	۵.۱ فضای System Selection
۳	۶.۱ تنظیم سیستم یا System tuning
۳	۷.۱ پیدا کردن مشکلات و گلوگاه‌ها Bottleneck identification
۳	۸.۱ حجم کاری یا Workload
۳	۹.۱ Capacity planning
۴	۱۰.۱ پیش‌بینی یا Forecasting
۴	۱۱.۱ الزامات انجام اندازه‌گیری‌های کارایی
۴	۱۲.۱ استفاده از تکنیک‌های آماری برای مقایسه جایگزین‌ها
۵	۱۳.۱ شبیه‌ساز و نکات تنظیمات
۶	۱۴.۱ هنر ارزیابی کارایی
۶	۱۵.۱ ارزیابی اصولی

### مجوز

به فایل license همراه این برگه توجه کنید. این برگه تحت مجوز GPLv۳ منتشر شده است که اجازه نشر و استفاده (کد و خروجی/pdf) را رایگان می‌دهد.

### کتاب مرجع

مرجع این جزوه تدریسی است که در کلاس صورت گرفته، و تدریس آن برگرفته از منابع زیر می‌باشد:

- Kishor S. Trivedi, Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications, John Wiley and Sons, New York, 2001.

- Raj Jain, The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1991.
- Daniel A. Menasce, Virgilio A.F. Almeida, and Lawrence W. Dowdy, Performance by Design: Computer Capacity Planning by Example, Prentice Hall, 2004.
- K. Kant, Introduction to Computer System Performance Evaluation, McGraw-Hill Inc., 1992.
- Nader Nematollahi, Probability & Statistics for Engineers, IUST Press, 1382
- S. Mahmood Mirkhan, Stochastic Process, IAU Press, 1391

## ۱ تعاریف اولیه

### ۱.۱ ابزارها و تکنیک‌های ارزیابی سیستم

۱. مدل‌سازی ریاضیاتی (Modeling)

۲. اندازه‌گیری، در دنیای واقعی (Measurement)

۳. شبیه‌سازی (Simulation)

### ۲.۱ متریک‌ها یا معیارها

معیارهایی برای بررسی و ارزیابی عملکرد وجود دارد که بایستی در هنگام آنالیز و بررسی سیستم نسبت به آنها تنظیم شود. دقیقاً معیارها و شرایطی هستند که می‌خواهیم سیستم را بر مبنای آن اندازه‌گیری کنیم.

۱. Response time

۲. Throughput

۳. Energy consumption

۴. Memory consumption

۵. Clock usage

۶. Capacity consumption

### ۳.۱ مخاطبان ارزیابی

مخاطبانی که مورد ارزیابی کارایی سیستم‌ها قرار می‌گیرند معمولاً در دسته‌بندی زیر قرار می‌گیرند:

● برنامه‌نویسان (Developers and Programmers)

● طراحان سیستم (Designers)

● مدیران سیستم (System Administrators)

● کاربران (Users)

## ۴.۱ طراحی سیستم یا System design

تمامی افراد اکوسیستم یک نرم افزار، سخت افزار یا شبکه در مسئله ارزیابی کارایی سیستم درگیر خواهند بود. هدف اصلی در ارزیابی سیستم ارائه بالاترین کارایی با کمترین هزینه می باشد. مهندسی علمی برای ایجاد توازن بین کارایی و هزینه ها می باشد. هزینه ها شامل زمان، نیروی انسانی و پول می باشند. هیچ وقت ادعای نظری برتری کارایی یک چیز را ثابت نمی کند.

## ۵.۱ فضای System Selection

فضای Selection بحث در انواع سیستم ها را دارد. چیزی که کمک می کند تا بهترین انتخاب را داشته باشیم با بررسی ارزیابی کارایی آن سیستم.

یکی از مهم ترین کاربردهای ارزیابی کارایی سیستم، آنالیز (تجزیه و تحلیل) می باشد. یک سیستمی که تمام فرآیند توسعه را طی کرده باشد و نیاز به بررسی رخدادهای دارد که مشخص شود چرا در این هنگام باعث کاهش کارایی آن شده است. اگر کد و آزمون های سیستمی به خوبی در هنگام توسعه و آزمایش انجام شده باشد هزینه های پشتیبانی در آینده کاهش می یابد. ارزیابی کارایی کاربرد بسیار زیادی در جنبه های انتخاب سیستم در لیستی از انتخاب ها، طراحی سیستم ها و اپلیکیشن ها و آنالیز سیستم های کنونی دارد.

## ۶.۱ تنظیم سیستم یا System tuning

وقتی که یک سیستم را با مفاهیم ارزیابی کارایی تنظیم می کنیم که بتوانیم بهترین کارایی را برای سیستم خود طراحی و اجرا کنیم.

## ۷.۱ پیدا کردن مشکلات و گلوگاهها Bottleneck identification

پیدا کردن مشکلات و گلوگاه هایی در سیستم که منجر به کاهش کارایی سیستم مورد نظر شده است. این فاز کلاً به صورت شناسایی مشکلات سیستم کنونی معرفی می شود.

## ۸.۱ حجم کاری یا Workload

تمام ویژگی هایی که بار کاری در سیستم ایجاد می کند. تا زمانی که به سیستم ورودی داده نشود نمی توانیم بررسی کنیم که خروجی به چه شکلی خواهد بود و آیا می توانیم از خروجی اندازه گیری کنیم؟ پس به ورودی داده ها Workload می گوئیم. این که قرار است چه نوع داده ای به سیستم وارد شود، تعداد مخاطب سیستم چقدر است و تمامی جنبه هایی که بر روی اندازه گیری کارایی سیستم تاثیرگذار است را در این بخش بررسی می کنیم. باید بدانیم که سیستم مورد ارزیابی برای چه نوع ورودی هایی تنظیم شده و تمام متریک های دیگر روی عملکرد آن تاثیرگذار است را شناسایی کنیم.

به عبارتی دیگر، درخواست هایی که توسط کاربران یا برنامه های دیگر جهت استفاده از سیستم مورد نظر وارد می شود را Workload می گوئیم.

## ۹.۱ Capacity planning

تعیین تعداد و اندازه کامپوننت ها، ماژول ها و بخش های استفاده شده در سیستم را گوئیم. ظرفیت های سیستم را بررسی می کنیم تا بدانیم برای آن چقدر منابع باید اختصاص دهیم. در حقیقت از دسته فعالیت هایی برای آینده سیستم می باشد. برای مثال یک نرم افزار قرار است پنج سال در دسترس کاربران باشد، باید در آن به صورت پویا مشخص کنیم که کاربران چقدر افزایش خواهند داشت و داده های آن ها با منابعی که مستقر کردیم سازگاری ظرفیتی دارد یا بایستی برنامه ریزی مجدد روی منابع جدید نسبت به افزایش درخواست ها، داشته باشیم. بیشتر با مقیاس پذیری همراه است.

## ۱۰.۱ پیشبینی یا Forecasting

پیشبینی کارایی سیستم در لودهای کاری آینده. همانند برنامه‌ریزی برای ظرفیت‌ها می‌باشد. بیشتر روی لودهایی که در آینده روی عملکرد سیستم تاثیرگذار است همراه می‌باشد.

## ۱۱.۱ الزامات انجام اندازه‌گیری‌های کارایی

برای اندازه‌گیری کارایی یک سیستم بایستی دو بخش را داشته باشیم:

۱. ایجاد داده و بار کاری یا Load generator

۲. پایش وضعیت سیستم با بار کاری‌ای که ایجاد شده یا Monitor

برای مثال موارد ارزیابی لیست شده زیر را در نظر بگیرید و بگویید که کدام ابزار می‌تواند برای سنجش کارایی مناسب باشد:

• میزان مصرف یک LAN که معمولاً با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی توان مصرفی iPerf قابل سنجش می‌باشد.

• مدت زمانی که طول می‌کشد یک پاسخ از Web server در سمت سرویس‌گیرنده دریافت شود.

– Python Locust: جهت شبیه‌سازی ارسال درخواست‌های تعداد زیاد در برنامه‌های Backend و Api‌ها

– Apache benchmark: تنها برای اندازه‌گیری میزان تحمل بار درخواست در سرویس‌های راه‌اندازی شده Apache مورد استفاده قرار می‌گیرد.

– JMeter

• بررسی کیفیت صدا در شبکه‌های VoIP

## ۱۲.۱ استفاده از تکنیک‌های آماری برای مقایسه جایگزین‌ها

وقتی در یک System selection چندین سیستم را داریم بایستی مقایسه‌ای از نظر عملکردی بر روی آن‌ها انجام شود که بدانیم کدام سیستم به نیاز ما نزدیک‌تر می‌باشد. برای اینکار در نظر گرفتن چند نکته الزامی می‌باشد:

۱. اصولاً فرایند ارزیابی با یک ورودی یا Workload انجام نمی‌شود بلکه در حالت‌های مختلف با ورودی‌های مختلف بایستی سیستم را مورد ارزیابی قرار داد. با اینکار ممکن است به رخدادهای غیرقطعی برسیم که می‌تواند روی عملکرد سیستم تاثیرگذار باشد.

۲. هر کدام از متریک‌ها می‌تواند از فرمول ریاضیاتی خاص خودش استفاده کند و نتیجه را ارائه دهد. می‌تواند یکی از متریک‌ها با میانگین‌گیری باشد و دیگری با بدست آوردن واریانس.

یکی از قسمت‌های مهم ارزیابی استفاده از حالت‌های مختلف ورودی‌ها جهت مقایسه کارایی سیستم می‌باشد. فرآیند ارزیابی بایستی بارها امتحان شود تا بتوان به نتیجه‌گیری مناسبی رسید. از یک یا چند روش آماری جهت جمع‌بندی کارهایمان در مقالات و آزمایش‌ها بایستی استفاده کنیم تا دلیل برتری کارایی سیستم (الف) از سیستم (ب) مشخص شود. جدول شماره ۱۲.۱ تعداد بسته‌های گم شده را در لینک‌های (A) و (B) را نشان می‌دهد.

Table : ۱ A و B لینک‌های در بسته‌ها شدن گم مقایسه

File size	Link A	Link B
۱۰۰۰	۵	۱۰
۱۲۰۰	۷	۳
۱۳۰۰	۳	۰
۵	۰	۱

سوال مهمی که این میان ممکن است مطرح شود آن است، آزمایش‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی چه تعداد بار بایستی انجام شود که قادر به پوشش فضای مورد نظر باشد؟

غالباً فاکتورهای بسیار زیادی روی کارایی تاثیر می‌گذارند، بایستی اثراتی که به صورت انفرادی مهم هستند را جدا کنیم. تعدادی از پارامترها به صورت ثابت یا Static هستند. برای مثال در سناریوهای خود نوع سیستم عامل و مرورگری که کاربر استفاده می‌کند را به صورت ثابت به ترتیب ویندوز و کروم در نظر می‌گیریم. دلیل اصلی این کار آن است که تمام پارامترهایی که سیستم می‌پذیرد را نمی‌توان کامل ارزیابی کنیم چرا که از نظر هزینه‌ای مدیریت دشوار و پیچیده‌ای دارد. راهکار اصلی آن است که بر اساس تجربه یکسری از پارامترها را حذف می‌کنیم.

قابل توجه است که همه پارامترها در ابتدا برای ارزیابی کارایی سیستم بایستی نوشته شوند و به صورت هوشمندانه تعدادی از این پارامترها را ثابت می‌کنیم.

- پارامترهایی که به صورت ثابت نگهداری می‌شوند را Static parameter می‌گوییم.
- پارامترهایی دستخوش تغییرات قرار می‌گیرند را Dynamic parameter یا Factor parameter می‌گوییم.

## نکات

- عملیات ارزیابی کارایی بسیار دشوار و زمان‌بر می‌باشد.
- سطح تعدادی از پارامترها را می‌توان زیاد کرد.
- فرایند ارزیابی کارایی به صورت iterative و تکرارشونده هستند.
- همیشه باید کل سیستم را بررسی و آنالیز کنیم که پارامترهای ثابت و factor مشخص شود.
- عملیات ارزیابی آنقدر تکرار می‌شود که بدانیم سیستم روی چه پارامترهایی باعث می‌شود که ارزیابی را با دقت بررسی کنیم.
- انجام آزمایش‌ها براساس نتایج و سناریوها را Experiment می‌گوییم.

## ۱۳.۱ شبیه‌ساز و نکات تنظیمات

یکی از نکات مهم در ارزیابی کارایی سیستم انجام شبیه‌سازی درست و مناسب می‌باشد:

- انتخاب زبان درست، انتخاب Seed برای اعداد تصادفی، مدت زمان اجرای شبیه‌سازی و آنالیزها
- قبل از موارد بالا بایستی اعتبار شبیه‌ساز تایید شود و شبیه‌ساز کاملاً با معیارهای ارزیابی ما بایستی Tune شود.
- برای مثال، جهت مقایسه کارایی دو الگوریتم کش جایگزینی خواهیم داشت:
- به چه اندازه‌ای شبیه‌سازی باید در حال اجرا باشد؟
- چه کاری باید انجام دهیم که با زمان اجرای کوتاه‌تر به دقت اجرای بلند مدت برسیم؟
- استفاده از مدل‌های صف‌بندی برای ارزیابی کارایی
- غالباً می‌توان سیستم‌های کامپیوتری را با نرخ سرویس‌ها و بارکاری‌ای که به سیستم می‌رسد به دو روش مدل کرد:

– استفاده از چند سرویس‌دهنده یا Multiple servers

– استفاده از چند صف‌بندی یا Multiple queues

– برای مثال می‌گوییم که کدام روش می‌تواند باعث ارزیابی بهتر کارایی وب سرویس می‌شود، استفاده از دو تک‌پردازنده یا استفاده از چهار وب سرویس تک پردازنده؟

## ۱۴.۱ هنر ارزیابی کارایی

ارزیابی را نمی‌توان به صورت مکانیکی تولید کرد. نیازمندی اصلی ارزیابی، دانش دقیق نسبت به سیستم و دقت بالا در انتخاب متدولوژی، Workload ها و ابزارها را دارا می‌باشد. با تکنیک‌ها و ابزارهایی که در اختیار داریم باید بررسی کنیم که با استفاده از آن‌ها به چه شکلی می‌توانیم به ارزیابی کارایی سیستم برسیم. پروژه‌ها اکثراً شامل مستندات Test coverage می‌باشد که در آن تکلیف دو طرف یعنی هم کارفرما هم پیمانکار را مشخص می‌کند.

## ۱۵.۱ ارزیابی اصولی

نکات مهمی در مورد ارزیابی اصولی به صورت Best practice ها مطرح می‌شود:

- یک هدف واحد را در نظر بگیریم.

- در فرایند ارزیابی کارایی تمام اهداف در ابتدا طراحی و مشخص شده‌اند و اصلاً اهداف به صورت کلی و جامع نیستند.

- هدف مغرضانه یا Biased goals نداشته باشیم.

- هیچ وقت از سیستمی طرفداری و جانبداری بی‌دلیل نکنیم و براساس داده‌سازی‌هایی که کرده‌ایم نشان ندهیم که سیستم تولید شده توسط ما بهتر از سیستم مقابل کارایی دارد. باید منصفانه تمام ارزیابی‌ها انجام شود.

- تمام Workload هایی که در سیستم مورد نظر استفاده می‌شود بایستی جامع و کامل باشد نه اینکه به صورت خاص تعیین شوند که برای سیستم طراحی شده توسط ما کارایی خوبی داشته باشد و برای سیستم مورد مقایسه کارایی بد. تنها با داده‌های خیلی زیاد و یا خیلی کم ارزیابی را انجام ندهیم بلکه تمام Workload ها بایستی از سطح مناسبی از تنوع (Diversity) برخوردار باشند.

- تکنیک‌های اشتباه ارزیابی: از مدل، شبیه‌سازی و ابزار اندازه‌گیری مناسبی استفاده کنیم.

- از یک سطح مناسب و متعادلی از جزئیات استفاده کنیم.

- نمی‌توانیم تعداد زیادی از موارد را مانند مثال سیستم عامل‌ها و مرورگرها را برای سیستم خود مورد ارزیابی قرار دهیم.

- نمی‌توانیم تعداد کمی از موارد را انتخاب کنیم.

- نداشتن حساسیت روی آنالیزها

- آن ارزیابی که بر روی سیستم انجام می‌شود تنها یک مشاهده می‌باشد نه یک دامنه یا fact طبیعی که بتوانیم با ادعاهایی سیستم را زیر سوال ببریم و اثبات کارمان را انجام دهیم.

- نمایش درستی از آنچه که بدست آورده‌ایم را فراهم کنیم.

- خواندن صرف برای همه کار پیچیده‌ای است، سعی کنیم با نمایش نمودارها و گراف‌ها نتایج را ملموس‌تر سازیم.

- در استفاده از شکل‌ها نهایت احتیاط را داشته باشیم. اگر نتایج به صورت نامناسب مصورسازی شده باشد باعث می‌شود ارزیابی سیستم زیر سوال رود.

- استفاده مناسب از محدودیت‌ها و مفروضات

- احتمال دارد در قدم اول فرض انبوه ترافیک شبکه را در TCP داشته باشیم با اینکه بیشتر ترافیک از سمت UDP ناشی می‌شود.

- لزومی ندارد که مفروضات در سیستم مورد نظر همیشه درست باشند.