به نام خدا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)
دانشکده کامپیوتر و فن آوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش معماری کامپیوتر

ارائه یک مدل تحلیلی برای شبکه ارتباطی در سیستم‌های ابرکلاستر ناهمگن

نگارش
حجت شریفی رستم‌آبادی

استاد راهنما

دکتر محمدکاظم اکبری

استاد مشاور

دکتر بهمن جوادی

پاییز ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: حجت شریفی رستم‌آبادی ● دانشجوی آزاد ○ بورسیه ○ معادل

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۳۱۰۵۹ دانشکده: مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات رشته تحصیلی: معماری کامپیوترگروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر محمد کاظم اکبری درجه و رتبه: دانشیار

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: دکتر بهمن جوادی درجه و رتبه: استادیار

عنوان پایان‌نامه به فارسی : ارائه یک مدل تحلیلی برای شبکه‌های ارتباطی در سیستم ابر خوشه‌ای ناهمگن

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: An Analytical Model For Interconnection Networks of Heterogeneous Super Cluster Systems

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد● دکترا ○ سال تحصیلی:

کاربردی ● بنیادی ○ توسعه‌ای ● نظری○

تاریخ شروع :۸۶/۸/۱ تاریخ خاتمه : ۸۷/۱۰/۹ تعداد واحد : ۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: مدل‌سازی تحلیلی، سیستم ابرکلاستر، ناهمگنی، الگوی ترافیک غیر یکنواخت، تاخیر پیام.

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Analytical Modeling, Super-Cluster, Heterogeneity, Non-uniform traffic pattern, Message Latency

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۱۵	تصویر○ جدول● نمودار● نقشه○ واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۴۳	تعداد صفحات ضمائم ۶
زبان متن	فارسی ● انگلیسی ○	چکیده	فارسی ● انگلیسی ●	
یادداشت				

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

این مجموعه را تقدیم می‌کنم به پدر بزرگوار

و مادر مهربانم

قدردانی

بدینوسیله از تمام اساتید و کسانی که مرا در طول این دوره و انجام این پروژه راهنمایی کرده‌اند کمال تشکر را دارم. از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد کاظم اکبری که در سایه رهنمودها و نظرات ایشان این پایان‌نامه تهیه و تکمیل گردید. جناب آقای دکتر بهمن جوادی، استاد محترم مشاور که در همه مراحل انجام پروژه از هیچ کوششی فروگذار نکردند و همیشه مشوق من بودند. جناب آقای دکتر احمد خوانساری استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران و همچنین جناب آقای دکتر حسین پدرام استاد دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر که داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند. همچنین از دوستان بزرگوار آقایان مهندس سید مجتبی شجاعی و مهندس مجتبی سلطانی که در مرکز تحقیقات پردازش‌های فوق سریع دانشگاه صنعتی امیرکبیر برای انجام شبیه‌سازی‌ها مرا یاری نمودند. سربلندی تمام این عزیزان را از درگاه خداوند آرزومندم.

این پایان‌نامه با ارجاع به نامه ۵۰۰/۸۱۹۹/ت مورخ ۸۷/۵/۲۸ ، تحت حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است.

چکیده

در سالهای اخیر سیستم‌های کلاستر رشد بسیار سریعی داشتند و این به دلیل مزایای این سیستم‌ها مخصوصا کارایی نسبت به هزینه بالای این سیستم‌ها می‌باشد. با پیشرفت فن‌آوری محاسباتی و ارتباطی امکان اتصال چندین سیستم کلاستر و ایجاد یک سیستم ابرکلاستر فراهم شده است که دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشند. در این پایان‌نامه یک مدل تحلیلی برای ارزیابی کارایی شبکه ارتباطی در سیستم‌های ابرکلاستر ناهمگن ارائه می‌کنیم. تاکنون چندین مدل تحلیلی برای شبکه ارتباطی این سیستم‌ها با لحاظ ترافیک یکنواخت ارائه شده است، اما ترافیک یکنواخت همیشه نمی‌تواند بازگوکننده حالت واقعی باشد. زیرا بسیاری از برنامه‌های کاربردی واقعی وجود دارد که ترافیک غیریکنواختی را به سیستم اعمال می‌کنند. ما در این پایان‌نامه یک مدل تحلیلی با لحاظ الگوهای ترافیک غیر یکنواخت و ناهمگنی‌های مختلف ارائه می‌کنیم. مدل پیشنهادی بر اساس تحلیل احتمالی و شبکه‌های صف می‌باشد. صحت اعتبار این مدل به کمک مقایسه آن با نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده است و مشخص می‌کند که مدل پیشنهادی تحت شرایط کاری مختلف دارای دقت مناسبی است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی تحلیلی، سیستم ابرکلاستر، ناهمگنی، الگوی ترافیک غیر یکنواخت، تاخیر پیام.

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱
۱-۱ ارزیابی کارایی ۳
۱-۲ روش‌های ارزیابی کارایی ٤
۱-۲-۱ مدلسازی تحلیلی ۷
۱-۲-۱-۱ صحت اعتبار مدل تحلیلی ۸
۱-۳ الگوهای ترافیک ۹
۱-۴ کارهای گذشته ۱۱
۱-۵ سیستم‌های موازی ابرکلاستر ۱۷
۱-۵-۱ همبندی شبکه ۱۹
۱-۵-۱-۱ همبندی *m*-port *n*-tree ۲۰
۱-۵-۲ الگوریتم‌های مسیریابی ۲۳
۱-۵-۲-۱ مسیریابی در سیستم ابرکلاستر با همبندی شبکه *m*-port *n*-tree ۲٤
۱-۵-۳ مکانیزم‌های کنترل جریان ۲۸
۱-۵-۴ ناهمگنی ۳۰
۲ مدل تحلیلی با الگوی ترافیک معکوس بیتی و الگوریتم مسیریابی قطعی ۳۱
۲-۱ فرضیات مدل ۳۱
۲-۲ مدل تحلیلی ۳۳
۲-۲-۱ زمان مورد نیاز برای انتقال یک فلیت توسط اتصال شبکه ۳۳
۲-۲-۲ تحلیل ترافیک ۳۳
۲-۲-۳ مدل جریان پیام در سیستم ۳٦
۲-۲-۳-۱ نرخ ترافیک ورودی به شبکه داخل کلاستر ۳۷
۲-۲-۳-۲ نرخ ترافیک ورودی به شبکه‌های خارج کلاستر ۳۷
۲-۲-۳-۳ نرخ پیام روی هر کانال شبکه ۳۸
۲-۲-۴ تاخیر پیام در شبکه داخل کلاستر ۳۹
۲-۲-۴-۱ میانگین تاخیر شبکه ۳۹
۲-۲-۴-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ٤۱
۲-۲-۴-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ٤۱
۲-۲-۵ محاسبه تاخیر پیام در شبکه‌های خارج کلاستر ٤۲

۲-۲-۵-۱ میانگین تاخیر شبکه ٤٣
۲-۲-۵-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ٤٤
۲-۲-۵-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ٤٤
۲-۲-۵-۴ میانگین زمان انتظار در متمرکزکننده و توزیع کننده ٤٥
۲-۳ صحت اعتبار مدل ٤٧
۲-۳-۱ پیکربندی شبیه ساز ٤٧
۲-۳-۲ نتایج شبیه سازی ٥٠
۲-۳-۳ تحلیل نتایج ٥٢
۲-۴ تحلیل موردی کارایی سیستم ٥٣
۲-۵ خلاصه فصل ٥٤
۳ مدل تحلیلی با الگوی ترافیک معکوس بیتی و الگوریتم مسیریابی تطبیقی ٥٦
۳-۱ فرضیات مدل ٥٦
۳-۲ مدل تحلیلی ٥٧
۳-۲-۱ زمان مورد نیاز برای انتقال یک فلیت توسط اتصال شبکه ٥٨
۳-۲-۲ تحلیل ترافیک ٥٨
۳-۲-۳ مدل جریان پیام در سیستم ٦١
۳-۲-۳-۱ نرخ ترافیک ورودی به شبکه داخل کلاستر ٦١
۳-۲-۳-۲ نرخ ترافیک ورودی به شبکه‌های خارج کلاستر ٦٢
۳-۲-۳-۳ نرخ پیام روی هر کانال شبکه ٦٢
۳-۲-۴ تاخیر پیام در شبکه داخل کلاستر ٦٣
۳-۲-۴-۱ میانگین تاخیر شبکه ٦٤
۳-۲-۴-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ٦٦
۳-۲-۴-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ٦٦
۳-۲-۵ محاسبه تاخیر پیام در شبکه‌های خارج کلاستر ٦٧
۳-۲-۵-۱ میانگین تاخیر شبکه ٦٨
۳-۲-۵-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ٦٩
۳-۲-۵-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ٧٠
۳-۲-۵-۴ میانگین زمان انتظار در متمرکزکننده و توزیع کننده ٧٠
۳-۳ صحت اعتبار مدل ٧٣
۳-۳-۱ پیکربندی شبیه ساز ٧٣
۳-۳-۲ نتایج شبیه سازی ٧٥
۳-۳-۳ تحلیل نتایج ٧٧

۳-۴ خلاصه فصل ۷۸
۴ مدل تحلیلی با لحاظ الگوی ترافیک ترانهاده–ماتریس ۸۰
۴-۱ فرضیات مدل ۸۰
۴-۲ مدل تحلیلی ۸۱
۴-۲-۱ زمان مورد نیاز برای انتقال یک فلیت توسط اتصال شبکه ۸۲
۴-۲-۲ تحلیل ترافیک ۸۲
۴-۲-۳ مدل جریان پیام در سیستم ۸۵
۴-۲-۳-۱ نرخ ترافیک ورودی به شبکه داخل کلاستر ۸۶
۴-۲-۳-۲ نرخ ترافیک ورودی به شبکه‌های خارج کلاستر ۸۶
۴-۲-۳-۳ نرخ پیام روی هر کانال شبکه ۸۷
۴-۲-۴ تاخیر پیام در شبکه داخل کلاستر ۸۸
۴-۲-۴-۱ میانگین تاخیر شبکه ۸۸
۴-۲-۴-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ۹۰
۴-۲-۴-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ۹۰
۴-۲-۵ محاسبه تاخیر پیام در شبکه‌های خارج کلاستر ۹۱
۴-۲-۵-۱ میانگین تاخیر شبکه ۹۱
۴-۲-۵-۲ میانگین زمان انتظار در گره مبدا ۹۲
۴-۲-۵-۳ میانگین زمان انتقال فلیت پایانی ۹۳
۴-۲-۵-۴ میانگین زمان انتظار در متمرکزکننده و توزیع کننده ۹۳
۴-۳ صحت اعتبار مدل ۹۴
۴-۳-۱ پیکربندی شبیه ساز ۹۵
۴-۳-۲ نتایج شبیه سازی ۹۷
۴-۳-۳ تحلیل نتایج ۹۹
۴-۴ خلاصه فصل ۱۰۰
۵ جمع‌بندی و کارهای آینده ۱۰۲
۶ مراجع ۱۰۵
ضمیمه ۱۰۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. روال مدل کردن و بررسی درستی و اعتبار مدل [5]..... ۹

شکل ۱-۲. معماری سیستم چند کلاستر ۱۶

شکل ۱-۱. ساختار عمومی پیشنهادی برای سیستم‌های چندکلاستر (HMSCS)..... ۱۸

شکل ۱-۲. ساختار نهایی مورد استفاده برای سیستمهای چندکلاستر ۱۸

شکل ۱-۳. ساختار شبکه 4-ary 2-tree..... ۲۰

شکل ۱-۴. مثالهایی از شبکه با همبندی *m*-port *n*-tree (الف)4-port 2-tree (ب)4-port 4-tree (ج)-1 8-port tree (د)8-port 3-tree ۲۱

شکل ۱-۵. الگوریتم مسیریابی برای همبندی *m*-port *n*-tree..... ۲۶

شکل ۱-۵. روال مسیریابی برای پیام‌های خارج کلاستر در سیستم ابرکلاستر ۲۷

شکل ۱-۶. نحوه عملکرد مکانیزم‌های کنترل جریان داده Store-and-Forward و Wormhole..... ۲۹

شکل ۲-۱. مدل جریان پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی..... ۳۹

شکل ۲-۲. الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در شبکه داخل کلاستر ۴۲

شکل ۲-۳. مدل جریان پیام در شبکه‌های خارج کلاستر..... ۴۲

شکل ۲-۴. الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در شبکه خارج کلاستر..... ۴۶

شکل ۲-۵. الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر..... ۴۷

شکل ۲-۶. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی، شبکه جدول۲-۳، $\theta = 0.4$ ۵۰

شکل ۲-۷. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی ، شبکه جدول۲-۳، $\theta = 0.6$..... ۵۰

شکل ۲-۸. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی، شبکه جدول۲-۲، $\theta = 0.7$..... ۵۱

شکل ۲-۹. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی، شبکه جدول۲-۳، (راست) $\theta = 0.6$ ... ۵۱

شکل ۲-۱۰. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی، شبکه جدول۲-۳، $\theta = 0.4$..... ۵۱

شکل ۲-۱۱. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی قطعی، شبکه جدول۲-۲، $\theta = 0.7$ ۵۲

شکل۲-۱۲. میانگین تاخیر سیستم ابرکلاستر برحسب نرخ ترافیک..... ۵۴

شکل ۳-۱. مدل جریان پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی..... ۶۳

شکل ۳-۲. الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در شبکه داخل کلاستر ۶۷

شکل ۳-۳. مدل جریان پیام در شبکه‌های خارج کلاستر..... ۶۸

شکل ۳-۴. الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در شبکه خارج کلاستر..... ۷۲

شکل۳-۵ الگوریتم حل مدل ارائه شده برای محاسبه میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر..... ۷۲

شکل ۳-۶. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۳، $\theta = 0.6$ ۷۵

شکل ۳-۷ میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۳، $\theta = 0.4$ ۷۵

شکل ۳-۸. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۲، $\theta = 0.7$..... ۷۶

شکل ۳-۹. میانگین میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۳، $\theta = 0.6$ .. ۷۶
شکل ۳-۱۰. میانگین میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۳، $\theta = 0.4$ ۷۶
شکل ۳-۱۱. میانگین میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۲، $\theta = 0.7$ ۷۷
شکل ۳-۱۲. میانگین میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر با مسیریابی تطبیقی، شبکه جدول۳-۲، $\theta = 0.7$ ۷۷
شکل ۴-۱. مدل جریان پیام در سیستم ابرکلاستر..... ۸۸
شکل ۴-۲. مدل جریان پیام در شبکه‌های خارج کلاستر..... ۹۱
شکل ۴-۳. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۲، $\theta = 0.5$ ۹۷
شکل ۴-۴. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۲، $\theta = 0.5$ ۹۷
شکل ۴-۵. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۳، $\theta = 0.7$ ۹۸
شکل ۴-۶. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۳، $\theta = 0.4$ ۹۸
شکل ۴-۷. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۲، $\theta = 0.6$ ۹۸
شکل ۴-۸. میانگین تاخیر پیام در سیستم ابرکلاستر، شبکه جدول۴-۲، $\theta = 0.6$ ۹۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲. مثالهایی از الگوهای ترافیک در شبکه ارتباطی ۱۱
جدول ۲-۱. ساختار های پایه برای سیستم‌های مورد استفاده در صحت اعتبار مدل ۴۹
جدول ۲-۲. پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل..... ۴۹
جدول ۲-۳ پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل..... ۴۹
جدول۳–۱. ساختار های پایه برای سیستم‌های مورد استفاده در صحت اعتبار مدل..... ۷۴
جدول ۳–۲. پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل ۷۴
جدول ۳–۳. پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل ۷۵
جدول ۴-۱. ساختار های پایه برای سیستم‌های مورد استفاده در صحت اعتبار مدل ۹۶
جدول ۴-۲. پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل..... ۹۶
جدول ۴-۳ پارامترهای شبکه مورد استفاده در صحت اعتبار مدل..... ۹۶

۱ مقدمه

در دنیای امروز رایانه نقش تعیین کننده‌ای در تمامی زمینه‌ها ایفا می‌کند و افزایش سرعت و دقت را در انجام کارها به همراه دارد. با توجه به افزایش پیچیدگی و حجم مسایل در بسیاری ازکاربردهای علمی و مهندسی، نیازمند قدرت پردازشی بیشتری نسبت به رایانه‌های شخصی هستیم. در طی زمانهای گذشته ابتکارات فراوانی برای بهبود کارایی پردازنده‌ها بکار برده شده است، اما برای رسیدن به سرعت‌های بالا نیازمند استفاده از تکنیک‌های پردازش موازی هستیم، یعنی اتصال چندین پردازنده توسط یک سیستم ارتباطی و استفاده همزمان از این پردازنده‌ها.

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های فوق سریع بر اساس شبکه مانند کلاستر و گرید به طرز چشمگیری افزایش داشته است. این سیستم‌ها به دلیل استفاده از سخت‌افزارهای آماده دارای هزینه پایینی هستند و با توجه به کارایی مناسب می‌توانند برای حل مسایل پیچیده در زمینه‌های علمی و مهندسی گزینه بهتری نسبت به ابررایانه‌های سنتی باشند. اخیرا پیشرفت‌های زیادی در زمینه سیستم‌های کلاستر صورت گرفته است. سیستم‌کلاستر از تعدادی کامپیوتر شخصی تشکیل شده است که توسط یک شبکه

سرعت بالا به هم متصل شده‌اند و تصویر یکپارچه‌ای از سیستم را برای کاربر فراهم می‌کند. این سیستم‌ها به دلیل استفاده از قطعات آماده کامپیوترهای شخصی، دارای هزینه بسیار پایین‌تری نسبت به ابر رایانه‌های سنتی هستند.

این سیستم‌ها دارای مزایای زیادی هستند، از جمله ۱- هزینه پایین، ۲- انعطاف پذیری بالا مانند امکان توسعه سیستم(افزایش تعداد پردازنده و حافظه و همچنین تغییر همبندی شبکه و...)، ۳- امکان به روز کردن سیستم به‌گونه‌ای که با پیدایش بهبود در وسایل موجود مانند پردازنده، حافظه و شبکه این سیستم‌ها اولین دسته از سیستم‌های موازی هستند که می‌توانند از این بهبودها در جهت افزایش کارایی استفاده کنند. ۴- عدم نیاز به شرکت یا کشور خاص برای پشتیبانی سیستم. به دلیل این مزایا درخواست‌ها برای این سیستم بالا رفت و بعنوان یک جایگزین برای سیستم‌های ابر رایانه سنتی مطرح شدند. بطوریکه تا اواخر سال ۲۰۰۸ حدود ۸۲ درصد از پانصد ابر رایانه سریع دنیا به این روش ساخته شده‌اند[1]. همچنین سریع‌ترین ابررایانه دنیا با فن‌آوری کلاستر ساخته شده‌است[1].

یکی از مهمترین قسمت‌های سیستم‌های کلاستر شبکه ارتباطی آنها می‌باشد که نقش اساسی را در کارایی نهایی سیستم ایفا می‌کند. در ابتدا این سیستم‌از فن‌آوری شبکه‌های محلی مانند Ethernet برای این سیستم‌ها استفاده می‌شد اما بدلیل سرعت کم، این فن‌آوری جوابگوی نیاز کاربردهای موازی نبود بنابراین تلاشهایی برای طراحی شبکه‌هایی با پهنای باند بیشتر و تاخیر کمتر آغاز شد. اخیرا شبکه‌هایی برای سیستم‌های کلاستر طراحی شده است که کارایی بهتری نسبت به شبکه‌های کامپیوتری قبلی دارند. بعنوان مثال‌هایی از این فن‌آوری‌ها می‌توان به Myrinet، InfiniBand و QSNet اشاره کرد[2]. با توجه به این نکات، تنها قسمتی از سیستم‌های کلاستر که تاحدی طراحی سفارشی دارد، شبکه‌های ارتباطی است و این امر نشان دهنده اهمیت این بخش از سیستم است.

در گذشته بسیاری از سیستم‌ها بصورت تک‌کلاستر بودند، اما با پیشرفت فن‌آوری محاسباتی و ارتباطی امکان اتصال چندین سیستم کلاستر و ساختن یک سیستم چندکلاستر بزرگ فراهم شده است. چنین سیستم‌هایی قابلیت‌های بیشتری در زمینه‌های تحقیقاتی و تجاری دارند و محدوده وسیعی از

برنامه‌های کاربردی موازی می‌توانند روی آنها اجرا شوند. از آنجاییکه شبکه ارتباطی در این سیستم‌ها نقش تعیین کننده‌ای دارد و کارایی این سیستم‌ها به شدت وابسته به شبکه ارتباطی آنها می‌باشد، بنابراین به روشها و تکنیک‌هایی برای ارزیابی کارایی آنها نیاز داریم. یکی از این تکنیک‌ها مدل‌سازی تحلیلی است که دارای مزایای زیادی از جمله هزینه و زمان اجرای کم می‌باشد. ما نیز در این پایان‌نامه قصد داریم که یک مدل تحلیلی برای شبکه‌های ارتباطی سیستم‌های ابرکلاستر ناهمگن ارائه دهیم.

۱-۱ ارزیابی کارایی

بطور کلی ارزیابی کارایی را می‌توان تحت عنوان نسبت دادن مقادیر کمّی به شاخص‌های کارایی سیستم تحت مطالعه تعریف کرد. کارایی یک سیستم دارای جنبه‌های بسیاری است از جمله وظیفه‌مندی، قابلیت اعتماد، سرعت و جنبه اقتصادی. وظیفه‌مندی مهمترین جنبه است چرا که هر سیستم موفقی باید بتواند آنچه را که مدنظر طراح بوده انجام دهد. اگر سیستم نتواند به این مطالبهٔ پایه‌ای پاسخ بدهد، صحبت از دیگر جنبه‌ها بی‌معنی است. دوم اینکه یک سیستم باید تا جائی که ممکن است قابل اعتماد باشد. وقتی یک درخواست به یک سیستم داده می‌شود دو نتیجهٔ ممکن وجود دارد: سیستم به درخواست انجام شده به طور صحیح یا ناصحیح پاسخ دهد. اگر سیستم نتواند بطور صحیح به درخواست انجام شده پاسخ دهد باید احتمال وقوع خطا مورد مطالعه قرار گیرد. اگر این احتمال خیلی زیاد باشد و نتواند اهداف طراحی را برآورده سازد سیستم باید دوباره طراحی شود یا بهبود یابد تا احتمال خطا به یک حد معقول محدود گردد. سوم اینکه اگر یک سیستم بتواند به درخواست انجام شده بطور صحیح سرویس دهد، مسأله سرعت کامل شدن کار اهمیت خواهد داشت. از آنجا که وظیفه‌مندی و قابلیت اعتماد دو ایدهٔ اساسی هستند که اغلب توسط طراحان سیستم در گامهای اولیهٔ چرخهٔ حیات طراحی درنظر گرفته شده و حل می‌گردند سرعت مکررترین عنوان تحقیقاتی درجماعت ارزیابی کارایی است. سرعت، اغلب با زمان پاسخ[1] و نرخ کار انجام شده در واحد زمان[1] سنجیده می‌شود و از طرف دیگرموثر بودن اغلب با بهره‌وری[2] سنجیده می‌شود.

---

[1] response time

سرانجام اینکه یک سیستم، طراحی و پیاده سازی می‌شود تا سرویسی با یک بهای داده شده ارائه نماید. اینکه چگونه می‌توان برای یک سری مشخصات داده شده، سیستم را طوری طراحی کرد که کمترین هزینه را داشته باشد چیزی است که "جنبه اقتصادی" باید درنظر بگیرد. برای ارزیابی کارایی یک سیستم یا برای مقایسهٔ دو یا چند سیستم، ابتدا باید برخی میزانها انتخاب گردد. این میزانها، معیار[3] نامیده می‌شوند. معیارهای مختلف ممکن است منجر به مقادیر کارایی کاملاً متفاوتی گردند، درنتیجه انتخاب معیارهای درست برای ارزیابی عادلانهٔ کارایی یک سیستم مشکل است. برای شناخت معیارها، اولین گام در مطالعات کارایی، شناخت رابطهٔ بین‌آنها و تأثیر آنها روی پارامترهای کارایی است. انتخاب بار کاری[4] مناسب تقریباً از درجهٔ اهمیت یکسانی با مبحث قبلی برخوردار است. بارکاری بعنوان یک موجودیت از همهٔ وظایف منحصر بفرد، تراکنش‌ها و داده‌هائی است که باید در یک پریود زمانی داده شده پردازش شوند. یا بطور ساده، بار کاری یک سیستم کامپیوتری، مطالبات کاربر از سیستم است. یک سیستم اغلب برای کار در یک محیط بخصوص با برخی بارهای کاری طراحی می‌شود. مطالعهٔ کارایی بدون درنظر گرفتن بار کاری درست نیست.

۱-۲ روش‌های ارزیابی کارایی

سه روش متداول در ارزیابی کارایی عبارتند از:

- اندازه‌گیری
- شبیه‌سازی
- مدل‌سازی تحلیلی

این دسته‌بندی براساس این واقعیت است که روش اندازه‌گیری باید روی یک سیستم واقعی انجام شود، یعنی سیستم موردنظر باید موجود و در دسترس باشد در حالیکه مدلسازی نیازی به آن ندارد.

---

[1] throughput rate
[2] utilization
[3] metric
[4] workload

هریک از این تکنیک‌ها چندین نوع هستند. به عنوان مثال اندازه‌گیری بصورت نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و هیبرید می‌تواند صورت پذیرد: شبیه‌سازی بصورت رویداد گسسته و یا پیوسته می‌باشد و مدلسازی تحلیلی مانند شبکه‌های صف، شبکه‌های پتری و غیره. انتخاب یک تکنیک مناسب برای مسأله کار واقعاً مشکلی است و نیاز به ملاحظات زیادی دارد. در قسمت زیر برخی ایده‌ها که باید در انتخاب تکنیک‌های حل یک مسأله درنظر گرفته شود، بحث خواهد شد.

قبل از انجام ارزیابی کارایی، درنظر گرفتن فاکتورهای زیر در انتخاب یک تکنیک مناسب مفید است: مرحله[1]، دقت و هزینه. شاید مهمترین فاکتوری که یک شخص باید درنظر بگیرد فاکتور مرحله باشد. یعنی ارزیابی کارایی در چه مرحله‌ای از طراحی مطالعه می‌شود، مراحل مختلف ممکن است به تکنیک‌ها و دقت متفاوت نیاز داشته باشد.

تکنیک اندازه‌گیری براساس اندازه‌گیری مستقیم سیستم تحت مطالعه با استفاده از مونیتورینگ نرم‌افزاری و یا سخت‌افزاری است. بنابراین سیستم باید در دسترس باشد. این تکنیک هنگامی که سیستم در مرحلهٔ طراحی است و هنوز ساخته نشده غیرممکن است. جهت‌گیری اندازه‌گیری در جهت تنظیم کارایی[2] است. شبیه سازی و مدلسازی تحلیلی هردو براساس مدلهای تجریدی هستند به جای آنکه براساس مدلهای واقعی باشند. یک مدل را می‌توان با تجرید خصیصه‌های ضروری طراحی براساس فرضیات مناسب و قبل از ساخته شدن سیستم تشکیل داد. بنابراین جهت‌گیری هردو تکنیک به سمت پیش‌بینی کارایی است (اگرچه که گاهی اوقات برای تنظیم کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرند). باید توجه داشت که پیش بینی کارایی در گام‌های اولیهٔ چرخهٔ حیات طراحی نه تنها مفید بلکه ضروری است چرا که منجر به کشف عیب‌های طراحی می‌شود که می‌توان آنها را هرچه زودتر رفع نمود. بنابراین از هزینهٔ اضافی طراحی دوباره یا بهبود دادن بعد از پیاده‌سازی اجتناب خواهد شد. البته توجه داریم که شبیه‌سازی و مدلسازی تحلیلی را می‌توان نه فقط در مراحل اولیه طراحی، بلکه در کل طول چرخهٔ حیات طراحی بکار برد. اغلب وقتی طراحی پخته می‌شود و جزئیات بیشتر و بیشتری از سیستم بدست

[1] satge
[2] performance tunning

می‌آید، می‌توان مدل دقیقتری ایجاد کرد. مدل تحلیلی گاهی اوقات درمراحل پایانی مناسب نیست چرا که در آن مراحل، مدل اغلب شامل جزئیات زیادی است که هزینهٔ زیادی برای حل می طلبد و یا در برخی از حالات از نظر ریاضی غیرقابل حل می‌شود.

از آنجا که هم شبیه‌سازی و هم مدلسازی تحلیلی از مدلها استفاده می‌کنند که نیاز به ساده‌سازیها و فرضیاتی دارد و فقط تقریبی از واقعیت هستند خطاهای تقریب ممکن است معرفی شوند. این امر بخصوص در مورد تکنیک‌های مدلسازی تحلیلی صادق است. برای اینکه مدل از نظر ریاضی قابل حل گردد سطح بالاتری از تجرید مورد نیاز است و فرضیات بیشتری باید درنظر گرفته شود. بعنوان مثال در خیلی از مدلهای تحلیلی فقط توزیع‌های نمائی برای توزیع‌های زمانی درنظر گرفته می‌شود. هنگامی که شبیه‌سازی درنظر گرفته می‌شود این محدودیت برداشته می شود و خیلی از توزیع‌های غیرنمائی پیچیده براحتی قابل استفاده است. شبیه سازی اجازه می‌دهد مدلهای پیچیده و با جزئیات بیشتر ارائه نمائیم که نتیجهٔ آن راه‌حل‌های دقیقتر می‌باشد.

بدلیل اینکه اندازه‌گیری بطور مستقیم روی یک سیستم واقعی انجام می‌گیرد، بنظر می‌رسد که دقیقترین نتایج را بین این سه تکنیک ارائه می‌نماید. اما این مطلب همیشه درست نیست. تکنیک اساسی در اندازه‌گیری استفاده از ابزار است که یک سری سربار معرفی می‌کند و ممکن است روی رفتار پویای سیستم تأثیر بگذارد[۴]. این مسأله تحت عنوان آشفتگی ابزار[1] نامیده می‌شود. علاوه بر این دقت اندازه‌گیری همچنین بستگی به چندین فاکتور دیگر نظیر زمان اندازه‌گیری و بارکاری مورد استفاده دارد. بنابراین تکنیک‌های اندازه‌گیری ممکن است داده‌های بسیار دقیق تا خیلی نادقیق ارائه نماید که بستگی به این دارد که فاکتورهای بالا چقدر خوب مورد عمل قرار گرفته است.

بدلیل آنکه اندازه‌گیری نیاز به ابزار دارد پرهزینه‌ترین روش است. مدلسازی تحلیلی نیاز به چیزی ندارد بنابراین ارزانترین است و شبیه سازی بین این دو است. بطور خلاصه، مدلسازی تحلیلی با کمترین هزینه و دقت در مراحل اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و شبیه‌سازی با هزینه و دقت بالاتر می‌تواند در

[1] Instrumentation Perturbation

هر گامی مورد استفاده قرار گیرد و اندازه‌گیری با بالاترین هزینه و دقت متغیر را فقط می‌توان بعد از ساخته شدن سیستم بکار برد.

۱-۲-۱ مدلسازی تحلیلی

مدلهای تحلیلی هم سخت افزار و هم جزئیات کاربرد را تجرید می‌کنند. رفتار سیستم تحت مطالعه با یک سری پارامترهای ساده بدست می‌آید. روش‌هایی مدلسازی کارایی متعددی وجود دارد که می‌توان برای سیستم‌های موازی بکار برد. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: معین[1] و احتمالی[2][۴]، در مدلهای معین همهٔ کمیت‌ها ثابت هستند و در مدلهای احتمالی، درجه‌هایی از نامعینی وجود دارد و کمیت‌های تصادفی دراین مدلها معرفی می شود. شبکه‌های صف و شبکه‌های پتری که در این قسمت بحث می‌شود به این دسته تعلق دارند.

یک مدل تحلیلی خوب باید حداقل دارای دو مشخصه باشد. اول اینکه باید بخوبی رفتار یک سیستم را توصیف کند و تا حد ممکن دقت بالایی داشته باشد. دوم، باید تاحد ممکن ساده باشد تا براحتی بتوان آن را حل نمود. اولین مشخصه این نکته را تاکید می‌کند که مدل تحلیلی باید شامل تمام جزییات لازم برای تعریف رفتار سیستم باشد در حالیکه دومین مشخصه به معنی صرفنظر کردن از پارامترهای سیستم به منظور سادگی است. واضح است که این دو مشخصه با یکدیگر در تناقض هستند. بنابراین باید یک موازنه بین این دو برقرار نمود که مشکل‌ترین قسمت ارائه یک مدل تحلیلی می‌باشد. اگر بخواهیم یک مشخصه سوم را نیز به عنوان پارامترکیفی وارد مدل نماییم، می‌توان به انعطاف پذیری[3] مدل اشاره نماییم. این مشخصه به مفهوم توانایی مدل برای تغییر یا گسترش برای پارامترهای دیگر یا سیستم‌های مشابه است.

برای شروع مدل سازی یک سیستم ابتدا باید فرضیات مدل با دقت مشخص شوند باشد. این فرضیات باید براساس سیستم واقعی انتخاب شوند تا بتوانند هدف ارائه مدل را به خوبی فراهم کنند. از

---

[1] Deterministic
[2] Probabilistics
[3] Flexibility

آنجاکه پارامترهای مختلف، تاثیر یکسان بر رفتار سیستم ندارند، انتخاب موثرترین پارامترها بسیار مهم و تعیین کننده می‌باشد. این منظور ما از مجرد سازی جزییات سیستم می‌باشد. انتخاب معیارکارایی[1] برای ارائه مدل نیز از قدمهای مهم است. البته انتخاب معیار مناسب برای ارزیابی منصفانه یک سیستم کار دشواری است [3]. بهترین راه برای انتخاب معیار برای مدل تحلیلی، بررسی تاثیر آنها برروی پارامترهای کارایی انتخاب شده از سیستم می‌باشد. با توجه به اینکه مشخصات برنامه کاربردی نیز در ارائه مدل باید لحاظ شود، انتخاب بارکاری[2] که از این طریق به سیستم اعمال می‌شود نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای نزدیک کردن مدل به سیستم واقعی باید بارکاری براساس اندازه‌گیری روی سیستم‌های واقعی انتخاب شود و یا حداقل یک تقریب نزدیک به آن درنظر گرفته شود.

۱-۲-۱-۱ صحت اعتبار مدل تحلیلی

پس از آنکه مدل تحلیلی از سیستم مورد نظر بدست آمد، در اینجا باید صحت اعتبار مدل بررسی شود. بررسی درستی[3] یک مدل، انطباق دادن مدل پیاده سازی شده با طرح اولیه است[4]، در حالیکه اعتبار یک مدل، انطباق مدل پیاده سازی شده با دنیای واقعی است[5]. برطبق [5] یک روال برای بدست آوردن مدل و بررسی درستی و اعتبار آن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

در اینجا براساس یکسری قوانین ریاضی/منطقی/جبری یک مدل صوری[6] از سیستم مورد مطالعه بدست می‌آید. این مدل به کمک برنامه نویسی کامپیوتری به یک مدل پیاده سازی شده[7] تبدیل می‌شود. مطابق با روال ذکر شده، ابتدا باید اعتبار مدل صوری بدست آمده را بررسی نمود. در روشی که ما برای حل مسئله خود انتخاب کردیم، برای بدست آوردن مدل صوری از قوانین صف و فرآیندهای تصادفی استفاده خواهد شد که اثبات درستی آنها در مستندات زیادی ارائه شده است.

---

[1] Performance metric
[2] Workload
[3] Verification
[4] "Building the model right"
[5] "Building the right model"
[6] Conceptual Model
[7] Computerized Model