

استفاده از شتاب‌دهنده‌های قابل بازپیکربندی در مراکز داده

مؤلف:

حمید نصیری بزنجان

نیکان کتاب

بهار ۹۷

سرشناسه	: نصیری بزنجانی، حمید؛ ۱۳۶۹-
عنوان و نام پدیدآور	: استفاده از شتاب‌دهنده‌های قابل بازیگرایی در مراکز داده / مؤلف: حمید نصیری بزنجانی
مشخصات نشر	: زنجان: نیکان کتاب، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۹۶ ص.: مصور.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۴۸۲-۷
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتاب‌نامه: ص. ۹۱-۸۷
موضوع	: تراشه‌های برنامه‌پذیر اف. پی. جی. ۱
موضوع	: Field programmable gate arrays
موضوع	: شتاب‌دهنده‌ها
موضوع	: Particle accelerators
موضوع	: داده‌پردازی — پردازش توزیع شده
موضوع	: Electronic data processing -- Distributed processing
موضوع	: مراکز داده‌پردازی — طرح و ساختمان
موضوع	: Electronic data processing departments -- Design and construction
رده‌بندی کسره	: ۱۳۹۷ ن ۴ ت / TK ۷۸۹۵
رده‌بندی دیویر	: ۶۲۱/۳۹۵
شماره کتابت سی ملی	: ۵۱۵۹۳۳۲



استفاده از شتاب‌دهنده‌های قابل بازیگرایی در مراکز داده / مؤلف: حمید نصیری بزنجانی

طراحی جلد: عرفان فرجی

چاپ و صحافی: فانوس

چاپ اول: بهار ۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۴۸۲-۷

دفتر نشر:

زنجان، چهارراه سعدی، روبروی بانک پاسارگاد، کوچه باقری، ساختمان سپهر ۱۰۱

تلفکس: ۲-۳۳۳۳۵۴۱-۲۴

Email: Nikanketab@yahoo.com

www.nikanketab.ir - @nikanketabpubbot

فهرست مطالب

۹	پیش‌گفتار
۱۵	بخش اول: مفاهیم پیش‌زمینه
۱۷	مقدمه
۱۷	تراشه‌های بازپیکرپذیر
۲۶	مجازی‌سازی
۳۶	فضای کاربر و فضای هسته
۳۷	دسترسی مستقیم حافظه
۳۸	بررسی PCIe
۴۱	بخش دوم: نمونه‌های استفاده از شتاب‌دهنده در مراکز داده
۴۲	مقدمه
۴۲	استفاده از FPGA در مرکز داده
۵۱	پیکربندی جزئی تراشه‌ی بازپیکرپذیر در زمان اجرا
۵۵	نتیجه‌گیری
۵۶	بخش سوم: بررسی نمونه پیاده‌سازی شتاب‌دهنده‌ی پویا در مرکز داده
۵۷	مقدمه
۵۷	آمادگی‌سازی ماشین مجازی
۶۳	آمادگی‌سازی مدیر ماشین مجازی
۶۵	آمادگی‌سازی تراشه‌ی بازپیکرپذیر
۶۹	بخش چهارم: ارزیابی بکارگیری شتاب‌دهنده‌ی پویا در مرکز داده
۷۰	مقدمه

۷۰	 مشخصات سیستم مورد ارزیابی
۷۱	 پیاده‌سازی اجزای تراشه‌ی بازپیکرپذیر
۷۳	 نتایج پیکربندی
۸۰	 اجرای دو برنامه‌ی محک در دو ماشین مجازی
۸۷	 منابع و مراجع
۹۲	 لغت نامه

www.ketab.ir

پیش‌گفتار

در دهه‌ی اخیر شاهد رشد چشمگیر مراکز داده‌ی^۱ شرکت‌های بزرگ بوده‌ایم، از طرف دیگر شرکت‌های کوچک علاوه بر استفاده از خدمات ابری^۲، تمایل به داشتن یک مرکز داده محلی^۳ برای خود دارند. بر اساس تحقیقات [۱] که بر روی ۲۴۱ شرکت مهم مرتبط با فناوری اطلاعات انجام شده است، ۳۶ درصد این شرکت‌ها از مراکز داده خصوصی استفاده می‌کنند و ۲۹ درصد از آن‌ها در حال برنامه‌ریزی برای ایجاد یک مرکز داده‌ی خصوصی هستند. با توجه به گسترش روز افزون مراکز داده و فراگیر شدن استفاده از کارزارهای^۴ محاسباتی، نیاز به افزایش قدرت محاسباتی در این مراکز بیش از پیش احساس می‌شود. حجم داده‌ی تولیدی طی سالیان اخیر سرازیر شده که نرخ تولید داده از چند سال قبل تا کنون نرخ نمایی دارد؛ بدیهی است که هر چه حجم تولید داده در مراکز بیشتر شود به همان نسبت محاسبات بیشتری لازم است.

یکی از راه‌های افزایش قدرت محاسباتی یک سیستم استفاده از شتاب‌دهنده^۵ در کنار پردازنده‌ی مرکزی است، به گونه‌ای که با انجام قسمتی از عملیات توسط شتاب‌دهنده، کارایی^۶ مناسبی برای کل سیستم فراهم شود. البته این افزایش کارایی باید به خدمت باشد که ارزش هزینه‌ی اضافی و پیچیدگی مربوط به افزودن شتاب‌دهنده را داشته باشد. معمولاً استفاده از شتاب‌دهنده‌ها در جایی قابل توجیه است که محاسبات لازم برای پردازش داده‌ی مورد نظر زیاد و زمان پردازش چندین برابر مجموع زمان انتقال داده به شتاب‌دهنده و زمان برگشت نتایج به سیستم باشد. از جمله متداول‌ترین شتاب‌دهنده‌هایی که امروزه به کار گرفته می‌شوند، می‌توان به پردازنده‌های گرافیکی^۷ (GPU) و تراشه‌های بازپیکرپذیر^۸ (FPGA) اشاره کرد.

استفاده از شتاب‌دهنده در یک مرکز داده پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. نحوه‌ی ارتباط بین شتاب‌دهنده و ماشین مجازی مستقر بر روی ماشین فیزیکی، با توجه به نوع شتاب‌دهنده می‌تواند متفاوت باشد. در بین شتاب‌دهنده‌ها، FPGA مناسب‌ترین گزینه برای استفاده در مرکز داده است. زیرا با توجه به

¹ Data Centers

² Cloud Services

³ Local

⁴ Server

⁵ Accelerator

⁶ Performance

⁷ Graphics Processing Unit

⁸ Field-Programmable Gate Array

اینکه در یک مرکز داده برنامه‌ها شامل محاسبات سنگین هستند و معمولاً قسمت‌های محاسباتی متنوعی دارند، نیاز به شتابدهنده‌ی قدرتمند و انعطاف‌پذیری داریم که بتواند در هر لحظه متناسب با هر برنامه تمامی عملکرد^۱ سخت‌افزاری معادل بخش محاسبات سنگین آن برنامه را در خود جای دهد و شتابدهنده‌ی مربوط به آن را به عنوان پیکربندی^۲ بپذیرد.

پردازنده‌های گرافیکی و تراشه‌های بازپیکربذیر، امروزه در مراکز داده و کاربردهای محاسبات با کارایی بالا^۳، به عنوان شتابدهنده‌های سخت‌افزاری، مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. این شتابدهنده‌ها به عنوان پردازشگر کمکی در کنار پردازنده‌ی مرکزی سیستم، بخش‌های محاسبه‌گر^۴ برنامه‌ها را تسریع می‌دهند. رایج‌ترین موارد استفاده از شتابدهنده‌ها کاربردهای پردازش تصویر [2, 3]، پردازش سیگنال [4] و عملیات ریاضی هستند^۵. با اضافه کردن شتابدهنده‌ی مناسب به یک مرکز داده می‌توان از مزایای آن در سطح ماشین‌های مجازی^۶ برخوردار شد.

در کارهای انجام شده پیش از این، GPU در مراکز داده به عنوان شتابدهنده برای یک ماشین مجازی استفاده شده است [7]؛ از طرف دیگر، بودن یک GPU به ازای هر ماشین مجازی هزینه‌ی زیادی را تحمیل می‌کند. همچنین اکثر کارهایی که از GA به عنوان شتابدهنده در مراکز داده استفاده کرده‌اند، به صورت استفاده از چند وظیفه‌ای^۱ از آن برای یک ماشین مجازی، دهاند [8-10] و تنها موردی که از FPGA به طور مشترک در بین ماشین‌های مجازی استفاده کرده، یک عملکرد ثابت برای تمام ماشین‌های مجازی، بر روی آن پیاده‌سازی کرده است [11].

پردازنده‌های گرافیکی توانایی محاسبات کوچک و زیاد را دارند و سرعت توسعه برنامه و اشکال‌زدایی در استفاده از این پردازنده‌ها بالا است و برای کاربردهای محاسباتی پردازش زیاد، با وابستگی داده کم، کارایی مناسبی دارد. GPUها با استفاده از زبان‌های سطح بالا برنامه‌ریزی می‌شوند و توسط رابط کاربری برنامه‌نویسی (API) که جزئیات سخت‌افزار را پنهان می‌کند، مورد استفاده قرار می‌گیرند [12]. مشکل اصلی

¹ Functionality

² Configuration

³ High Performance Computing

⁴ Compute Intensive

⁵ Virtual Machines

⁶ Multitasking

این شتاب‌دهنده ساختار یکپارچه به همراه محدودیت در نحوه دسترسی به حافظه می‌باشد. در طرف دیگر تعطاف محاسباتی و سرعت بالا، از ویژگی‌های اصلی تراشه‌های بازپیکرپذیر هستند و به توسعه دهندگان این اجازه را می‌دهد که طراحی خود را با هر گونه ساختاری پیاده‌سازی کنند. FPGA به عنوان یک شتاب‌دهنده در بسیاری از کاربردها، ضمن مصرف توان کمتر، تسریع بهتری نسبت به GPU ارائه می‌دهد [12, 13]. البته برنامه‌نویسی FPGA با زبان‌های توصیف سخت‌افزار به مراتب دشوارتر از برنامه‌نویسی GPU است. بازپیکرپذیری در زمان اجرا، به کارگیری طراحی خط لوله^۲ و اجرای چند عملکرد متفاوت به طور همزمان، از قابلیت‌های کلیدی FPGA نسبت به GPU به شمار می‌آیند.

با وجود قابلیت‌های محدود پیکربندی جزئی^۳ [14] و پیکربندی در زمان اجرای FPGAهای امروزی، با طراحی مناسب می‌توان از یک FPGA عنوان شتاب‌دهنده‌ای مشترک برای تمام ماشین‌های مجازی، استفاده کرد. چنین طراحی ضمن کاهش هزینه‌ی ناشی از افزودن شتاب‌دهنده، باعث بهره‌وری^۴ حداکثری FPGA در مرکز داده نیز خواهد شد. زیرمجموعه‌ی نیاز با نیاز هر ماشین مجازی پیکربندی FPGA تغییر خواهد کرد و در مدت زمانی که FPGA در اختیار یک ماشین مجازی است، شتاب‌دهنده‌ی اختصاصی آن محسوب می‌شود. از آنجا که هزینه‌ی به کارگیری یک تراشه‌ی بازپیکرپذیر در سیستم نسبتاً زیاد است و یک ماشین مجازی به طور مداوم از شتاب‌دهنده استفاده نمی‌کند، مسئله‌ی اصلی در این طرح استفاده از تراشه بازپیکرپذیر به طور مشترک بین ماشین‌های مجازی در حال اجرا، بر روی کارگزار است. به علاوه، اشتراک تراشه‌ی بازپیکرپذیر، باعث مشغول بودن حداکثری آن می‌شود.

مسئله مهم در این رویکرد به کارگیری FPGA به عنوان شتاب‌دهنده در یک محیط مجازی‌شده^۵ است که توسط یک مدیر ماشین مجازی^۶ مدیریت می‌شود؛ به گونه‌ای که کمترین^۷ سربار^۸ دسترسی نسبت به یک سیستم معمولی^۸ را داشته باشد. با فراهم کردن دسترسی مستقیم یک ماشین مجازی به FPGA، به

^۱ Run-time Reconfiguration

^۲ Pipeline

^۳ Partial Reconfiguration

^۴ Utilization

^۵ Virtualized

^۶ Virtual Machine Monitor (VMM)

^۷ Overhead

^۸ Native

برنامه‌هایی که در آن ماشین مجازی اجرا می‌شوند، امکان اجرای دستورات ممتاز^۱ برای انتقال داده به شتاب‌دهنده و بالعکس داده می‌شود. به این ترتیب سربرابر درخواست ورود به فضای هسته^۲ و دسترسی به راه‌انداز^۳ و زمان انتظار برای پاسخ‌گویی به این درخواست حذف خواهد شد.

در کاربردهایی مثل خدمات ابری که با محوریت یک مرکز داده ارائه می‌شوند، یکی از معیارهای مهم سرویس‌دهی به کاربران، اولویت اختصاص داده شده به هر کاربر است. از این رو یکی از ویژگی‌هایی که در معماری پیشنهادی باید در نظر گرفته شود، تخصیص شتاب‌دهنده به هر ماشین مجازی طبق اولویت کاربر آن است. با افزایش مدت زمان استفاده‌ی یک ماشین مجازی از FPGA یا افزایش فرکانس در اختیار گرفتن FPGA، سهم آن ماشین مجازی از FPGA افزایش می‌یابد.

استفاده از FPGA به عنوان شتاب‌دهنده با روال معمول دسترسی به سخت‌افزار در یک محیط مجازی‌سازی شده، به دلیل عدم دسترسی مستقیم سیستم عامل یک ماشین مجازی به راه‌انداز FPGA نیازمند استفاده از راه‌اندازهای پشت‌صحنه^۴ و ریدار^۵ است. این روش دسترسی به شتاب‌دهنده به ویژه در انتقال حجم زیاد داده، باعث ایجاد سربرابر دستی خواهد شد، از این رو برای استفاده از شتاب‌دهنده جهت پردازش حجم زیاد داده، نیاز به روشی است که در آن ماشین مجازی، بدون واسطه با راه‌انداز اصلی FPGA در ارتباط باشد. مورد دیگری که در این کار ملاحظه می‌شود، زمان‌بندی مناسب برای تخصیص FPGA به ماشین‌های مجازی است. زمان‌بندی باید به قدری باشد که در طی آن هر یک از ماشین‌های مجازی کمترین زمان انتظار را برای دریافت FPGA داشته باشد، صاف اینکه میزان مشغول بودن FPGA نیز باید حداکثر شود. همچنین مدیریت بازپیکربندی FPGA در زمان اجرا با توجه به شتاب‌دهنده‌ی مورد نیاز هر ماشین مجازی، باید به صورت کارا در FPGA انجام شود.

هر یک از اعمال تخصیص FPGA به یک ماشین مجازی و تغییر بیکر^۶ در زمان اجرا می‌تواند سربرابر زیادی به سیستم تحمیل کند و مانع از رسیدن به تسریع حداکثری و کاهش منابع گردد؛ لذا هم در تغییر

^۱ Privileged

^۲ Kernel Space

^۳ Driver

^۴ Backend Driver

^۵ Frontend Driver

مالکیت FPGA و هم در نوع پیکربندی باید بهترین انتخاب به منظور به حداقل رساندن این سربارها انجام گیرد.

www.ketab.ir