گداخت کوانتومی در ماشین کوانتومی D-Wave

گردآوری و ترجمه:
مهدی [illegible] فهانی، معین نجفی ایوکی

www.ketab.ir

تهران، جمهوری اسلامی ایران
پاییز ۱۳۹۶

سرشناسه: اصفهانی، مهدی، ۱۳۶۲ -، گردآورنده، مترجم
عنوان و نام پدیدآور: گداخت کوانتومی در ماشین کوانتومی /D -Wave گردآوری و ترجمه مهدی اصفهانی، معین نجفی‌ایوکی.
مشخصات نشر: تهران: اندیشگاه فناوری‌های نوین، انتشارات، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری: ۱۲۷ص.: مصور، جدول، نمودار .
شابک: 978-600-8290-32-2 :
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: کامپیوترهای کوانتومی
موضوع: Quantum computers
شناسه افزوده: نجفی، معین، ۱۳۷۰ -، گردآورنده، مترجم
رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۴ گ ۶۴ الف/ ۸۸۹ / QA ۷۶
رده بندی دیویی: ۰۰۴/۱
شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۷۵۶۲

www.ketab.ir

عنوان کتاب: گداخت کوانتومی در ماشین کوانتومی D-Wave
گردآوری و ترجمه: مهدی اصفهانی، معین نجفی ایوکی
مدیر علمی: عبدا... محرابی
ناظر تخصصی: موسی محمدنیا
ناشر: اندیشگاه فناوری‌های نوین
چاپ و صحافی: ردونا
کتاب‌آرا: هادی کیقبادی
نوبت چاپ: اول (پاییز ۱۳۹۶)، ۵۰۰ جلد
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۹۰-۳۲-۲
قیمت: ۱۲۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ بوده و هرگونه بهره‌برداری از مطالب آن با ذکر منبع، مجاز می‌باشد.
برای تهیه این کتاب می‌توانید به www.aeroshop.ir مراجعه کنید یا با شماره تلفن ۰۲۱۷۷۲۶۳۳۴۳ تماس حاصل فرمایید.

پیشگفتار

به زبان ساده، حل مسئله‌ی بهینه سازی را می‌توان به جستجو و یافتنِ عمیق‌ترین (پایین‌ترین) نقطه در یک چشم انداز مانند کرد، که در آن تمام جواب‌های ممکن به مختصاتی معیّن شده نگاشته می‌شوند. به ارتفاع‌های مختلفِ این چشم‌انداز، به طور تکنیکی، تابع هزینه یا انرژیِ پاسخ در آن نقطه گفته می‌شود. هدف، یافتن پایین‌ترین نقطه در نگاشت (نقشه) و خواندن مختصات متناظر با جوابی است که بهینه شده یا پایین ترین انرژی را دارد. در حالت کلاسیکی، یافتن پاسخ تنها از طریق جستجوی همه‌ی حالت‌های ممکن و قدم زدن در این چشم‌انداز قابل دسترسی است. در حالی که مکانیکی کوانتومی، با قابلیت تونل زنی، یعنی رفتن از حالتی به حالت دیگر بدون پیمودن مسیرهای میانی، این خواسته را علی‌الاصول سریعتر و موثرتر انجام خواهد داد. رایانه‌ی D-Wave شرکت گوگل با استفاده از سخت افزاری مبتنی بر مدارهای ابررسانا، تمامِ حالت‌های ممکن را برای پیدا کردن کمینه‌ی انرژی "هم‌زمان" در نظر می‌گیرد. این روش نه تنها قابلیت پیدا کردن پاسخ بهینه را دارد، بلکه می توان از آن هر جوابِ دلخواه دیگر را نیز انتخاب کرد. سامانه‌ی D-Wave با استفاده از روش "گداخت کوانتومی" (Annealing Quantum) این مسئله را حل می‌کند. به طور خلاصه، گداخت کوانتومی، کیوبیت‌ها را از حالت‌های برهم‌نهی به حالت‌های کلاسیکی میزان می‌کند، و می‌توان مجموعه جواب‌های ذخیره‌شده را، که جواب مسئله در آن نهفته است، یافت. در این رهیافت، با

www.ketab.ir

خاموش (سرد) کردن کمیتی در سیستم و در واقع با استفاده از خواص مکانیک کوانتومی، می‌توان با دقت خوبی رسیدن به یک جواب بهینه در مسئله‌ای سخت را تضمین کرد. از دیگر کاربردهای سامانه‌ی کوانتومی گوگل می‌توان به یادگیری ماشین، شناخت الگو و تشخیص ناهنجاری در داده‌ها، تحلیل اقتصادی و همچنین اعتبارسنجی و تایید نرم‌افزار/سخت افزار اشاره کرد. حل چنین مسئله‌های بهینه‌سازی که در کلاس پیچیدگی سخت قرار می‌گیرند از مهم‌ترین و پایه‌ترین قدم‌ها برای راه اندازیِ محاسبه‌گری جهان شمول است.

در این کتاب، شیوه‌ی اجرا و بارگذاری الگوریتم‌های مرتبط کوانتومی را بررسی و با الگوریتم‌های مشابه در گداخت کلاسیکی برای حل مسئله‌ی بهینه سازی مقایسه کرده‌ایم. برای نمونه، این که به طور کمی چقدر در سرعت رسیدن به جوابِ بهینه، میان الگوریتم کلاسیکی و کوانتومی، تفاوت وجود دارد. به علاوه، چگونگیِ اجرای عملی آن‌ها در پردازنده‌های D-Wave را مطالعه خواهیم کرد. توسعه و بهره بردن از این دانش، نیازمند مطالعه‌ی سیستم‌های فیزیکی مانند شیشه‌های اسپینی (Spin Glass) و مدل آیزینگ (Ising) است. نظریه ها و آزمایش‌های مرتبط در این رابطه به طور دقیق بررسی شده‌اند. در فصل اول مدل آیزینگ و مفاهیم مرتبط به شیشه‌های اسپینی را مطالعه خواهیم کرد. در فصل دوم به طور مفصل به گداخت گرمایی و کوانتومی و مقایسه آن با الگوریتم‌های محاسباتی دیگر پرداختیم. همچنین با آزمایش‌های مرتبط بر روی سیستم‌های واقعی و طبیعی آشنا خواهیم شد. در فصل‌های سوم و چهارم نیز بر روی رایانه‌های کوانتومیِ آنالوگ شرکت گوگل تمرکز کرده‌ایم و نتایج مربوط به تست‌ها بر روی این سیستم‌ها و پیشرفت‌های اخیر در این زمینه را بررسی کرده‌ایم. در نهایت اهداف آتی و قدم‌های مورد نیاز برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها بحث شده است.

www.ketab.ir

فهرست

فصل اول: مدل آیزینگ و شیشه‌های اسپینی ۵
۱ـ۱. مقدمه ۵
۱ـ۲. حل مدل آیزینگ یک بعدی بدون میدان مغناطیسی با استفاده از تغییر متغیر ۶
۱ـ۲ـ۱. شرایط مرزی باز ۶
۱ـ۲ـ۲. شرایط مرزی پریودیک ۷
۱ـ۳. حل مدل آیزینگ یک بعدی بدون میدان مغناطیسی به روش تکرار ۸
۱ـ٤. حل مدل آیزینگ یک بعدی به روش ماتریس انتقال ۹
۱ـ۵. توابع همبستگی ۱۲
۱ـ۵ـ۱. محاسبه تابع همبستگی در غیاب میدان مغناطیسی ۱٤
۱ـ۵ـ۲. محاسبه تابع همبستگی به روش ماتریس انتقال ۱۵
۱ـ٦. شیشه‌های اسپینی ۱۸
فصل دوم: گداخت و محاسبات کوانتومی ۲۵
۲ـ۱. مقدمه ۲۵
۲ـ۲. بهینه‌سازی و گداخت ۳۰
۲ـ۲ـ۱. مسئله‌ی بهینه‌سازیِ ترکیبی ۳۰

www.ketab.ir

۲ـ۲ـ۲. مکانیک آماری در مسائل کمینه‌سازی و گداخت گرمایی ۳۱
۲ـ۲ـ۳. شیشه‌ی اسپینی و بهینه‌سازی ۳٤
۲ـ۲ـ٤. شیشه‌های اسپینی کوانتومی و گداخت ٤۰
۲ـ۳. گداختِ کوانتومی ٤٥
۲ـ۳ـ۱. گداخت کوانتومیِ مونته کارلو ٥۰
۲ـ۳ـ۲. گداختِ کوانتومی از طریق تحول بی‌درروی زمان حقیقی ٥۸
۲ـ۳ـ۳. گداخت سیستم‌های مقید جنبشی ٦٥
۲ـ۳ـ٤. تحقق آزمایشگاهیِ گداختِ کوانتومی ۷۰
۲ـ٤. همگرایی الگوریتم‌های گداختِ کوانتومی ۷۲
۲ـ٥. فرونشانیِ کوانتومی ۷٤
۲ـ٦. خلاصه و نتیجه‌گیری ۷٥
فصل سوم: رایانه‌ی کوانتومی دی‌ویو ۷۷
۳ـ۱. مقدمه ۷۷
۳ـ۲. سردسازهای کوانتومی ۸۱
۳ـ۳. بحث و نتیجه‌گیری ۸۷
فصل چهارم: پیشرفت‌های اخیر در گداخت کوانتومی ۹۳
٤ـ۱. مقدمه ۹۳
٤ـ۲. تعریف ۹۳
٤ـ۳. عملکرد دی‌ویو و برتریِ طلایی برای گداختِ کوانتومی ۹٤
٤ـ٤. اثرات کوانتومیِ قابل توجه در گداخت ۹٥
٤ـ٥. پتانسیل‌های گداختِ کوانتومی ۹٦
ضمائم و مراجع ۹۷
ضمیمه‌ی الف: فرمالیسم سوزوکی ـ تروتر ۹۷
ضمیمه‌ی ب: گداخت کوانتومی برای سیستم اسپینی مختل شده ۱۰۱
ضمیمه‌ی پ: گداخت کوانتومی در مدل آیزینگ با میدان عرضی ۱۰۸

www.ketab.ir