

1억배 빠른
양자 *Quantum*
컴퓨터가 온다

RYOSHI COMPUTER GA JINKO CHINO WO KASOKU SURU written by
Hidetoshi Nishimori, Masayuki Ohzeki
Copyright © 2016 by Hidetoshi Nishimori, Masayuki Ohzeki.
All rights reserved.
Originally published in Japan by Nikkei Business Publications, Inc.
Korean translation rights arranged with Nikkei Business Publications, Inc.,
Tokyo through Botong Agency, Korea

이 책의 한국어판 번역권은 Botong Agency를 통한 저작권자와의 독점 계약으로 로드북이 소유합니다.
신 저작권 법에 의하여 한국 내에서 보호를 받는 저작물이므로 무단전재와 무단복제를 금합니다.

1억배 빠른 양자 컴퓨터가 온다

니시모리 히데토시, 오오제키 마사유키 지음
신상재 옮김

IT 과학이야기 #3

1억배 빠른 양자 컴퓨터가 온다 인공지능의 미래를 결정할 양자 컴퓨터 이야기

지은이 니시모리 히데토시, 오오제키 마사유키 옮긴이 신상재 1판 1쇄 발행일 2018년 4월 15일
펴낸이 임성춘 펴낸곳 로드북 편집 조서희 디자인 이호용(표지), 양혜란(본문)
주소 서울시 동작구 동작대로 11길 96-5 401호
출판 등록 제 25100-2017-000015호(2011년 3월 22일) 전화 02)874-7883 팩스 02)6280-6901
정가 15,000원 ISBN 978-89-97924-38-7 93000

© 니시모리 히데토시, 오오제키 마사유키 & 로드북, 2018

책 내용에 대한 의견이나 문의는 출판사 이메일이나 블로그로 연락해 주십시오.
잘못 만들어진 책은 서점에서 교환해 드립니다.

이메일 chief@roadbook.co.kr 블로그 www.roadbook.co.kr

로드북
RoadBook

기술서 번역을 시작한 이래 가장 큰 위기가 닥쳤습니다. 말이 컴퓨터공학 전공자이지 양자 컴퓨터라고는 본 적도 없기 때문에 이 책의 번역 의뢰를 받았을 때는 정말 많은 생각이 들었습니다. 특히 저자진이 일본 양자 컴퓨터계의 권위자였던 탓에 상당히 조심스럽게 원서를 살펴보았습니다. 그런데 초기의 우려와는 달리 제법 재미있게 읽을 수 있었는데, 그 이유는 불필요하게 수식이 복잡하게 나열되어 있거나, 양자 컴퓨터의 원리를 이해시키기 위해 많은 설명을 하는 대신, 양자 컴퓨터가 만들어지기까지의 산업계와 연구계의 이야기가 드라마처럼 다루어졌기 때문입니다.

처음에는 양자 컴퓨터를 이해하고 말겠다는 욕심이 있었지만, 슈뢰딩거의 말처럼 ‘양자역학을 이해하는 사람은 아무도 없다’는 생각으로 ‘미시 세계는 그런거야’ 하고 받아들이고 나니 책을 읽기가 한결 편해졌습니다. 심지어 중고등학교 때 한번쯤은 들어보았을 물리학자나 이론의 이름들을 다시 보면서 그동안 아무 관계도 없이 나열되어 있었던 개념들이 하나하나 머릿속에 엮이는 즐거운 경험을 할 수 있었습니다.

이 책은 어쩌면 양자 컴퓨터는 어떤 것이고 우리의 미래는 어떻게 될 것이라고 미래의 전망을 전하기보다는, 과거 일본의 연구계가 양자 컴퓨터를 만드는데 어떠한 기초를 제공했으며, 어떤 노력들을 해왔지만 안타깝게도 주도권을 가져가진 못했다는 아쉬

움의 이야기일지도 모르겠습니다. 그런 의미에서 저자진은 연구는 연구로 머무를 것이 아니라 산업으로의 응용에도 더 적극적으로 어야 하고, 정부도 이를 뒷받침하기 위한 여건을 조성해야 한다는 메시지를 여기저기에 묻어두었습니다.

우리나라의 상황도 크게 다르진 않을 것입니다. 오히려 일본보다 기초 과학이 약한 상황에서 양자 컴퓨터 시대를 맞이하기 위해서는 더 많은 고민과 노력이 필요할지도 모릅니다. 거시적인 고전 물리학의 사고 방식으로는 미시적인 양자역학의 세계를 이해하기 어렵듯이, 양자 컴퓨터를 제대로 활용하기 위해서는 전통적인 컴퓨터의 사고 방식에서 벗어나는 사고의 전환이 필요합니다. 그리고 양자 컴퓨터를 둘러싼 연구계와 산업계, 정부의 협력 관계 역시 지금과는 다른 모습이어야 할 것이며, 이 책에서 그러한 메시지를 읽어야 합니다.

이 책은 양자 컴퓨터라는 다소 부담스러운 내용을 다루고 있어, 번역을 하는 동안에 다양한 분들에게 원고를 보여드리고 의견을 받았습니다. 거의 반강제로 원고를 떠 맡기다시피 하였습니다만 바쁜 시간을 쪼개어 글을 살펴보고, 좋은 의견을 주신 모든 베타 리더분들께 감사 드립니다.

특히, 페이스북 타임라인에서 종종 양자 컴퓨터에 대한 관심을 표출하신 것을 보고, 무작정 원고 검토를 부탁드렸던 마이크로

소프트 김명신 부장님, 평소 신기술에 관심이 많고 책에 대해서는 신랄한 비평을 해주시는 지앤선 출판사의 김지영 실장님, 팟캐스트 ‘지대넓얕’에서 양자역학을 종종 언급하셨다는 이유로, 이 글은 꼭 봐주셔야 한다고 ‘폐친’ 맺은 과학 컬럼리스트이자 방송인 이독실 님, 이 책이 일본의 연구계에 대한 이야기가 많아 한국은 어떠한지 의견을 여쭙보았다가 오히려 한국 연구계를 자극하는 데 도움이 될 것 같다는 응원을 해주신 한국전자통신연구원ETRI의 이순석 박사님, 평소 팟캐스트 ‘디지털히어로즈’와 도서 『IT 트렌드를 읽다』를 통해 IT기술에 대한 해박한 지식과 통찰로 참신한 인사이트를 무한 공급해주시는 세컨드브레인 연구소 이임복 님, 양자 컴퓨터를 다룬 이 책이 개발자들에게는 어떤 의미로 다가갈지 궁금하여 대한민국 평범한(?) 개발자 대표로 원고를 봐주신 ‘우아한형제들’ 이정희 님께, 이 자리를 빌어 다시 한번 고맙다는 말씀 전하고 싶습니다.

그리고 약간은 무미건조했을 글에 원서에도 없던 삽화를 넣고, 좀더 쉽게 읽을 수 있도록 다듬어 주신 조서희 편집자님과 박진희, 양혜란 디자이너님, 그리고 전혀 생각하지 못했던 주제로 번역 제의를 해주어 즐거운 경험을 선물로 주신 로드북 임성춘 대표님께 감사 드립니다.

0이기도 하고 1이기도 한 설레는 봄 기분을 만끽하며
신상재

양자 컴퓨터와 인공지능의 새로운 시대가 시작된다

이 책을 손에 집어든 여러분은 과연 양자 컴퓨터에 관심이 있는 것일까요, 아니면 인공지능에 관심이 있는 것일까요, 혹은 그 둘 다일까요?

양자 컴퓨터라는 말은 1990년대에 이르러서야 일반인에 알려지기 시작했는데, 지금까지 사용해온 컴퓨터에 비해 월등히 빠른 속도로 처리를 할 수 있다는 사실이 알려지면서 세간의 주목을 받게 되었습니다. 하지만 실제로 사용할 수 있는 수준이 되려면 아직 수십 년은 더 있어야 한다고 생각했습니다. 한편 인공지능 분야는 최근 몇 년 사이에 괄목할 만한 성과를 보이고 있는데 체스나 바둑에서는 이미 인간의 챔피언을 꺾은 바 있고, 다양한 산업 분야에 활용되기 시작했습니다.

그러면 왜 이 책에서는 별로 관계가 없어 보이는 양자 컴퓨터와 인공지능을 함께 다루려고 하는 걸까요? 그 이유는 아직 상용화가 되기엔 미숙하다고 판단되었던 양자 컴퓨터가 어느새 완성되었고, 심지어 상용화되어 판매되는 상황에 이르자, 과거에는 전혀 관계가 없다고 여겼던 인공지능 분야에 양자 컴퓨터를 활용하려는 움직임이 진행 중이기 때문입니다.

상용화된 양자 컴퓨터는 이제까지 개발된 컴퓨터들과는 일단 컴퓨터의 동작 방식에 대한 발상 자체가 다릅니다. 양자 컴퓨

터가 동작하는 방식 중, 대표적인 방식에는 ‘양자 어닐링^{quantum annealing}’이라는 방식이 있습니다. 양자 어닐링 방식의 장비는 오늘날 많이 사용되는 컴퓨터와 달리 범용적으로는 사용하지 못하지만, 인공지능을 시작으로 물류나 금융과 같은 분야에서는 폭넓게 응용할 수 있습니다. 양자 컴퓨터를 상용화하는 데 성공한 곳은 캐나다의 벤처 기업인데, 이에 질세라 구글^{Google}과 미국 정부에서도 양자 어닐링 방식의 장비를 개발하는 데 막대한 돈을 투자하고 있습니다. 그 결과, 미국에서는 양자 컴퓨터와 관련된 산업과 학계의 큰 변화가 계속해서 일어나고 있습니다.

이 책은 이렇게 주목 받는 양자 컴퓨터가 어떤 방식으로 동작하는지, 어떤 처리를 할 수 있는지, 그리고 어떻게 인공지능에 응용할 수 있는지에 대해, 전문 지식이 없는 일반인들도 가능한 쉽게 이해할 수 있도록 설명하기 위해 쓰였습니다. 한편 이렇게 미국에서 왕성한 움직임을 보이고 있는 양자 컴퓨터의 기본 원리와 요소 기술은 사실 일본의 연구자들이 개발한 것이 많습니다. 그래서 양자 컴퓨터 기술 부문에서 일본의 연구자들이 어떤 기여를 해왔는지 살펴보고, 앞으로는 어떻게 세계 무대에서 좀더 적극적으로 활동할 수 있을지에 대해서도 이야기하려 합니다.

그러면 이 책에 대해 간단히 알아볼까요?

1장은 구글과 나사^{NASA}가 양자 컴퓨터에 대해 ‘기존 컴퓨터보다 1억배 빠르다’라고 기사 회견에서 한 이야기로 시작합니다. 양자 컴퓨터가 어떤 방식으로 연산을 하고, 어떤 형태로 기업에 도움이 되며, 어떤 사람들이 개발하였는지 등에 대해 간략히 설명하고 있습니다.

2장은 양자 컴퓨터를 개발한 캐나다의 벤처 기업에 대해 다루고 있습니다. 이론 물리학을 익힌 창업자가 어떻게 이런 변혁을 일으키게 되었는지에 대해 살펴보고 현 시점에서 더 나은 성능을 내기 위해서는 어떤 과제를 해결해야 하는지에 대해서도 확인해 봅니다.

3장은 양자 컴퓨터가 연산을 하는 원리와 그것을 인공지능에 어떻게 응용할 수 있는지에 대해 다루고 있습니다. 양자 컴퓨터에서는 ‘양자 비트^{qubit}’를 사용해서 문제를 표현합니다. 이렇게 동작하는 양자 컴퓨터는 기존 컴퓨터로 풀면 상당한 시간이 걸리는 ‘조합 최적화 문제’를 좀더 효율적으로 풀 수 있는 잠재력이 있습니다. 이어서 인공지능의 기반 기술에 해당하는 ‘기계 학습’이나 ‘딥 러닝^{deep learning}’ 부문에서 양자 컴퓨터의 능력을 활용할 수 있는 메커니즘에 대해 다루고 있습니다.

4장에서는 양자 컴퓨터가 실제로 사용되었을 때 기업들은 어

떻게 변화하게 될지, 미래의 전망에 대해 이야기합니다. 실제로 이미 양자 어닐링 장비가 이미 활용하고 있는 분야도 있는데, 이런 맥락에서 양자 컴퓨터가 인공지능에 활용되고 그 결과 기업이 겪을 변화에 대해 함께 생각해보고자 합니다.

5장은 양자 컴퓨터에 대해 더 깊이 이해하기 위해 ‘양자역학’의 기본 지식이나 관련 요소 기술들이 개발된 역사에 대해 설명합니다. 양자역학의 세계에서는 물질이 ‘입자’와 ‘파동’의 성질을 둘 다 가지고 있거나 ‘0’과 ‘1’이 동시에 존재하는 등, 우리가 일상 생활에서 접하는 상식과는 동떨어진 일들이 일어나는데, 이 장에서 이러한 극단적인 상황에 대해 알아봅니다.

6장에서는 양자 어닐링 방식의 양자 컴퓨터를 구현하기까지의, 기초 연구부터 실용화 단계 과정에 대해 살펴보면서 앞으로 일본이 나아가야 할 길에 대해서 생각해 봅니다.

대부분의 사람들은 양자 컴퓨터나 인공지능이라고 하면 ‘뭔지 모르지만 복잡한 것’이라고 생각하곤 합니다. 그리고 이 책을 읽다 보면 ‘두 개의 중첩 상태’ 부분에서 여전히 연구가 더 필요한 미개척 분야가 있음을 알게 될 것입니다. 이 책에서 다루는 내용은 결코 쉽지 않은 내용일 수 있습니다만 부디 한발 더 내딛어서 이 책을 읽어나가다보면 양자 컴퓨터와 인공지능이라는 큰 그림을 그리는 데 도움이 될 것입니다.

西森秀稔 니시모리 히데토시, Hidetoshi Nishimori
도쿄공업대학교 이학원 교수

1954년 코우치^{高知} 출생으로, 1977년에 도쿄대학교 이학부 물리학 과를 졸업했습니다. 1981년 카네기멜론대학교Carnegie Mellon University에서 박사 연구원이 되었고 1982년 도쿄대학교 대학원 박사 과정을 수료하여 이학 박사가 된 후, 랏거스대학교Rutgers University 박사 연구원이 되었습니다. 1990년 도쿄공업대학교 이학원 물리학과 조교수로 취임, 1996년에 도쿄공업대학교 이학원 교수가 된 후, 지금에 이르렀습니다. 1990년에 일본 IBM 과학상, 2006년에 니시나 기념상^{仁科記念賞}, 2014년에 일본 이노베이터 대상을 수상하였습니다.

저서에는 『스핀 글래스 이론과 정보통계역학』(岩波書店)⁰¹, 『상전이, 임계현상의 통계물리학』(培風館)⁰², 『물리수학Ⅱ - 푸리에 변환과 라플라스 변환, 편미분 방정식, 특수함수』(丸善出版)⁰³, 『Statistical Physics of Spin Glasses and Information Processing: An Introduction』(Oxford University Press)가 있고 공동 집필한 책으로는 『Elements of Phase Transitions and Critical Phenomena』(Oxford University Press)가 있습니다.

01 역자 주: 『スピングラス理論と情報統計力学』(岩波書店)

02 역자 주: 『相転移, 臨界現象の統計物理学』(培風館)

03 역자 주: 『物理数学Ⅱ - フーリエ解析とラプラス解析, 偏微分方程式, 特殊関数』(丸善出版)

大関真之 오오제키 마사유키, Masayuki Ohzeki

도호쿠대학교 대학원 정보과학연구과 응용정보과학전공 준교수

1982년 도쿄 출생으로, 2008년 도쿄공업대학교 대학원 이공학연구과 물성물리학전공 박사과정을 조기 수료하였습니다. 도쿄공업대학교 산학관 제휴 연구원으로서 양자 어닐링을 연구하고 로마대학교 물리학과 연구원, 교토대학교 대학원 정보학연구과 시스템과학 전공 조교를 거쳤습니다. 2016년 10월에 도호쿠대학교 대학원 정보과학연구과 응용정보과학전공 준교수가 된 후, 지금에 이르렀습니다. 2012년에 제6회 일본물리학회 신인 장려상^{第6回日本物理学会若手奨励賞}을, 2016년^{平成28年}에 문부과학성 젊은 과학자상^{平成28年度文部科学大臣表彰若手科学者}을 수상하였습니다. 저서에는 『기계 학습 입문 - 볼츠만 기계 학습에서 딥러닝까지』(옴출판사)⁰⁴가 있습니다.

04 역자 주: 『機械学習入門 - ボルツマン機械学習から深層学習まで』(オ-ム社)

차례

옮긴이의 말 ...	04
지은이의 말 ...	07
이 책의 구성 ...	09
지은이 소개 ...	11

첫 번째 이야기_1억배 더 빠른 컴퓨터

구글과 NASA의 기자 회견이 세상을 놀라게 하다 ...	18
조합 최적화 문제를 단 시간에 풀어내는 양자 컴퓨터 ...	24
인공지능 외의 다양한 분야에도 활용 가능한 양자 컴퓨터 ...	29
컴퓨터가 아닌 실험 장비로서의 양자 컴퓨터 ...	33
양자 어닐링은 과연 무엇인가 ...	35
캐나다 벤처 기업의 무모하지만 위대한 도전 ...	37
양자 비트에 횡자장을 걸었을 때 ...	40
양자 터널 효과가 문제의 답으로 인도한다 ...	44

두 번째 이야기_양자 어닐링 머신의 탄생

D-Wave 시스템 ...	48
물리학자의 아이디어에서 시작된 양자 컴퓨터 개념 ...	51
초전도체로 양자 비트를 만든다 ...	56
상용기 개발을 목표로 ...	59

양자 인공지능 연구소가 설립되다 ... 61
키메라 그래프가 병목이다 ... 63
활개치는 미국, 일본은 과연 ... 67

세 번째 이야기_최적화 문제의 해법과 인공지능 분야로의 응용

순회하는 외판원 문제를 어떻게 풀 것인가 ... 72
어닐링이란 과연 무엇인가 ... 76
에너지의 산을 뚫고 나가다 ... 81
4색 문제에 응용하기 ... 86
기계 학습과 딥 러닝 ... 90
양자 어닐링에 의한 클러스터링 ... 95
D-Wave 머신에 의한 샘플링 ... 99

네 번째 이야기_양자 컴퓨터가 만드는 미래

미국의 열기가 연구자들을 불러 모은다 ... 106
낮은 소비 전력으로 환경 문제를 해결한다 ... 112
양자 컴퓨터가 인공지능을 가속한다 ... 116
의료, 스포츠 분야에서 거는 기대치 ... 120
법률이나 고고학으로의 응용 ... 125
인공지능, 센서를 통해 인간에 더 가까워지다 ... 129
기술적 특이점은 과연 오는가 ... 132

다섯 번째 이야기_양자의 신비로운 세계를 보다

양자역학은 무엇인가 ... 136
중첩 상태의 패러독스 ... 141
불확정성의 원리 ... 144
양자 터널 효과와 넘어야 할 에너지 장벽 ... 146
튜링 머신과 양자 회로 ... 149
일본에서 개발된 양자 비트 ... 152
다양한 양자 컴퓨터 ... 155

여섯 번째 이야기_세계를 주도할 꿈을 꾸는 일본

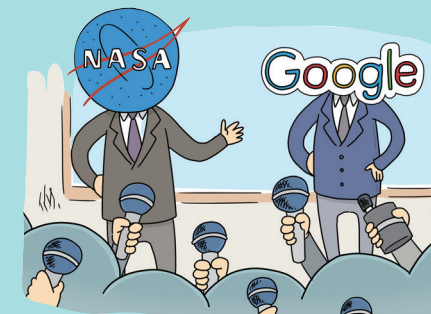
기초 연구는 의외의 곳에서 꽃을 피운다 ... 160
치밀함도 중요하지만 지금 필요한 건 대범함 ... 166
장벽을 넘어 모험가 정신으로 ... 169
소프트웨어 분야에 미개척지가 있다 ... 172
무어 법칙을 넘어서 ... 175
연구자의 의식 변화가 새로운 사회를 만든다 ... 177
세계를 주도할 꿈을 꾸는 일본 ... 180

이 글을 마치며 ... 185
찾아보기 ... 191

첫 번째 이야기

1억배

더 빠른 컴퓨터

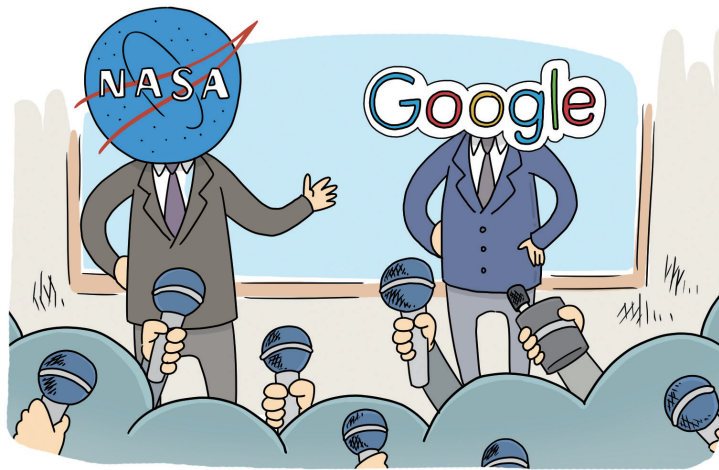


양자 컴퓨터는 양자역학의 특징을 살려 0과 1의 두 가지 상태를 모두 가지는 양자 비트로 연산하는 장치입니다. 0과 1이 공존하는 상태를 다른 말로 풀어보면 '0'이기도 하고 '1'이기도 한 상태인 셈인데, 이런 상태가 직관적이지 않고 이해하기 어려운 이유는 우리가 이제까지 알던 상식과 거리가 먼 양자역학의 세계에서 일어나는 일이기 때문입니다.

구글과 NASA의 기자 회견이 세상을 놀라게 하다

2015년 12월 8일, 미국 실리콘밸리에 있는 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)의 에임스 연구센터(Ames Research Center, ARC)에서 역사적인 기자 회견이 열렸습니다.

회견장에는 NASA 뿐만 아니라 대학우주연구연합Universities Space Research Association, USRA과 구글이 나섰는데, 회견 내용은 2년 간 캐나다 D-Wave 시스템(이하 D-Wave)의 양자 컴퓨터를 사용하면서 얻은 성능 테스트 결과였습니다.



▲ 2015년 12월 8일, NASA와 구글 연구팀은 최신 양자 컴퓨터를 공개하면서 이 컴퓨터는 일반 컴퓨터보다 약 1억배 더 빠르게 연산을 수행한다고 발표했습니다.

‘D-Wave의 양자 컴퓨터는 기존 컴퓨터와 비교해 볼 때, 1억배 더 빠른 것이 확인되었다’ 이런 충격적인 내용이 알려지자, 전문 매체는 물론, 워싱턴 포스트지⁰¹와 같은 일반 언론 매체에서도 앞다투어 이 소식을 전했습니다.

‘1억배 더 빠르다’라는 말을 간단하게 풀어보면 기존의 컴퓨터에서 1억초가 걸리는 처리를 단 1초만에 해낸다는 말인데, 여기서 ‘1억초’는 변환하면 약 3년 2개월로 상당히 오랜 시간에 해당합니다. 사실 연산 처리 속도는 풀고자 하는 문제의 성격에 따라 달라지기 때문에 이렇게 단순 비교를 하기에는 다소 무리가 있습니다. 하지만 이제까지 상당한 시간과 비용을 들여야 가능했던 연산 처리를 더 짧은 시간에 해결할 수도 있는 장비가 나왔다는 것만큼은 틀림없는 사실이 되었습니다.

양자 컴퓨터는 1980년대에 고안되어 이후 개발이 진행되어 왔지만, 본격적으로 쓸 수 있는 단계에 이르려면 21세기 후반에나 가능하리라고 짐했습니다. 그랬던 것이 불과 수년 전에 D-Wave가 양자 컴퓨터를 상용으로 출시하였고, 급기야 NASA와 구글이 그 성능 결과를 발표한 것입니다.

컴퓨터는 기본적으로 0과 1이라는 디지털 신호로 모든 처리를 한다고 알려져 있습니다. 0과 1을 전기 신호로 치자면 전압의 높고 낮음으로 표현할 수 있습니다. 또한 CPU(central processing unit) 같

01 <http://wapo.st/2EK4kk4>





▲ NASA에 설치된 D-Wave 시스템의 양자 컴퓨터

은 중앙 처리 장치⁰²에서는 반도체의 ‘논리 게이트’에서 0과 1의 신호 입력을 받은 후, 0이나 1의 형태로 출력을 내어 연산 처리를 합니다⁰³. 이때 사용되는 ‘0’과 ‘1’을 **비트** bit라고 합니다.

양자 컴퓨터는 양자역학의 특징을 살려 0과 1의 두 가지 상태를 모두 갖는 **양자 비트** quantum bit, qubit로 연산하는 장치입니다. 0과 1이 공존하는 상태는 ‘0’이기도 하고 ‘1’이기도 한 상태인 썸인데, 이런 상태가 직관적이지 않고 이해하기 어려운 이유는 우리가 이제까지 알던 상식과 거리가 먼 양자역학의 세계에서 일어나는 일이기 때문입니다.

02 역자 주: 오랜 번역 관례상 중앙 처리 ‘장치’라는 용어가 쓰이나 사실상 기계 장치와 같은 형태는 아니고 반도체 소자(素子)의 모양을 하고 있다.

03 ‘149쪽 튜링 머신과 양자 회로’ 참고

이제까지 양자 비트를 사용한 연산 장치라고 하면, ‘양자 비트를 제어하는 논리 게이트를 조합하여 연산할 수 있게 만든 장치’ 정도의 의미로 해석했습니다. 아마도 여기에는 기존의 컴퓨터가 처리하던 연산 방식을 확장하되, 양자역학적인 현상을 이용해서 한계를 극복해 보자는 의도가 깔려있었던 것으로 보입니다. 기존의 컴퓨터는 성능을 개선할 수 있는 수준이 어느 정도 한계에 이른 상태였기 때문에, 이를 극복할 고성능 양자 컴퓨터의 개발에 큰 기대를 하고 있었습니다. 하지만 현존하는 제조 기술상의 한계로 인해, 제대로 사용할 수 있는 양자 컴퓨터는 수십 년 후나 만들어지리라는 것이 업계의 지배적인 생각이었습니다. 하지만 그런 생각과는 달리 전혀 다른 방식으로 양자 컴퓨터가 개발되어 캐나다의 벤처 기업이 상용화를 한 것입니다

양자 컴퓨터에 대해서는 이제까지 상당히 오랜 기간 연구되어 왔는데, 이때 연구한 기술을 양자 게이트 혹은 양자 회로 방식이라 부릅니다. 이에 반해 최근 상용화된 양자 컴퓨터는 **양자 어닐링**이라는 방식을 사용합니다⁰⁴. 양자 어닐링 방식은 양자 게이트 방식과는 전혀 다른 방식으로 연산합니다. 그래서 양자 컴퓨터가 상용화되었다는 소식이 전해지자마자 ‘양자 어닐링 방식이란 무

04 양자 게이트 방식을 사용해야 진정한 양자 컴퓨터라고 보는 시각이 있다. 이 책에서는 소프트웨어상에서 양자역학을 응용하여 처리하는 경우도 양자 컴퓨터의 범주로 보고 있다. 또한 양자 어닐링 방식에서도 처리 방식을 일부 확장할 경우, 이론적으로 양자 게이트 방식과 같은 기능을 할 수 있게 만들 수 있기 때문에 두 환경 간의 원리상의 차이는 거의 없다고 볼 수 있다. 다만, 실제로 하드웨어상으로 구현을 하거나 알고리즘을 개발하는 방식, 그리고 사용 용도 등의 관점에서 보자면 둘 중 어떤 기반의 플랫폼을 사용하느냐 따라 만들어지는 모습이 전혀 다를 수 있다.

엇인가?’와 같은 화두가 각종 매체나 관계자들은 물론 관심 있는 일반인 사이에까지 회자되었습니다.

이 책의 저자이기도 한 니시모리 히데토시^{西森秀稔}는 바로 이 양자 어닐링 방식을 생각해낸 사람입니다. 그는 이제까지 다양한 매체를 통해 양자 컴퓨터와 양자 어닐링 방식의 메커니즘에 대해 설명을 해왔었는데, 양자 컴퓨터라는 주제는 여전히 전문가 집단의 관심을 받을 뿐, 일반인에게는 무척이나 어려운 내용이었습니다. 어떻게 하면 좀더 일반인이 양자 컴퓨터를 쉽게 이해할 수 있을까? 라는 생각을 시작으로 전문 지식이 없는 사람에게는 양자 컴퓨터를 쉽게 설명하기 위해 이 책이 집필되었습니다.

한편 양자 어닐링 방식을 사용한 양자 컴퓨터가 세상의 주목을 받고 있는 이유로는 인공지능에 응용할 수 있으리란 기대감이 한몫 하기 때문입니다. 인공지능의 실현과 그를 향한 연구 개발 활동들은 향후 사회 곳곳에서 크고 작은 변화를 줄 것이 분명합니다. 양자 컴퓨터는 이러한 인공지능의 성능을 높이고, 그로 인해 인공지능의 응용 범위 또한 폭넓게 만들 수 있는 가능성이 있습니다. 특히 양자 어닐링 방식의 양자 컴퓨터는 인공지능을 실현하는데 반드시 필요한 ‘기계 학습’을 현 단계에서 더욱 진화시킬 수 있는 방아쇠 역할을 할 수 있습니다.

그런 이유로 일찍이 니시모리 연구소에 있었고, 현재는 인공지능과 기계 학습까지 연구 분야를 넓히고 있는 오오제키 마사유키^{大関真之}를 영입하여 이 책의 공동 저자로 합류시켰습니다. 앞서 양자 컴퓨터도 그러하지만 인공지능에 관해서도 전문 지식이 없

는 독자도 이해할 수 있도록 최대한 알기 쉽게 설명을 해나가려고 합니다.

조합 최적화 문제를 단 시간에 풀어내는 양자 컴퓨터

D-Wave의 양자 컴퓨터가 모든 문제를 기존 컴퓨터보다 1억배 빠른 속도로 해결하는 것이 아닌 특정한 문제에서만 그 성능을 발휘한다는 기사가 나오면서 양자 컴퓨터의 기술의 한계는 무엇인가에 대해 논의가 시작되었습니다.

앞서 D-Wave의 양자 컴퓨터가 기존 컴퓨터에 비해 1억배 더 빠르다고 했는데, 여기서 주의할 점은 양자 컴퓨터가 기존 컴퓨터에 비해 항상 1억배 빠른 것은 아니라는 사실입니다. 정확하게 말하자면 특정 문제를 푸는 조건에서 그 정도의 성능이 나왔다는 결과 발표였습니다⁰⁵.

기존의 컴퓨터는 특정 상황과 상관없이 다양한 분야에 다양한 목적으로 사용할 수 있습니다. 예를 들어 이 책을 쓰고 있는 지금도 컴퓨터에 설치된 워드프로세서로 원고를 작성하고 있으며, 가끔 웹 브라우저를 사용해서 자료를 찾기도 합니다. 이때 네트워크의 반대편에서는 구글의 데이터 센터에 위치한 수많은 컴퓨터들이 검색 결과를 내놓기 위해 분주히 움직입니다. 이러한 컴퓨터들은 다양한 용도로 사용할 수 있기 때문에 범용적汎用的이라고 말합니다.

이에 반해 D-Wave의 양자 컴퓨터는 특정 목적으로밖에 사

05 <http://bit.ly/2ENLrc4>



용하지 못합니다. 여기서 특정 목적이란, 조합 최적화 문제를 푸는 것을 의미하는데, 앞서 구글과 NASA가 발표한 1억배 빨랐다는 조건은 특정 조합 최적화 문제를 풀었을 때 D-Wave의 양자 컴퓨터가 처리한 속도가 기존 컴퓨터보다 1억배 빨랐다는 얘기입니다.

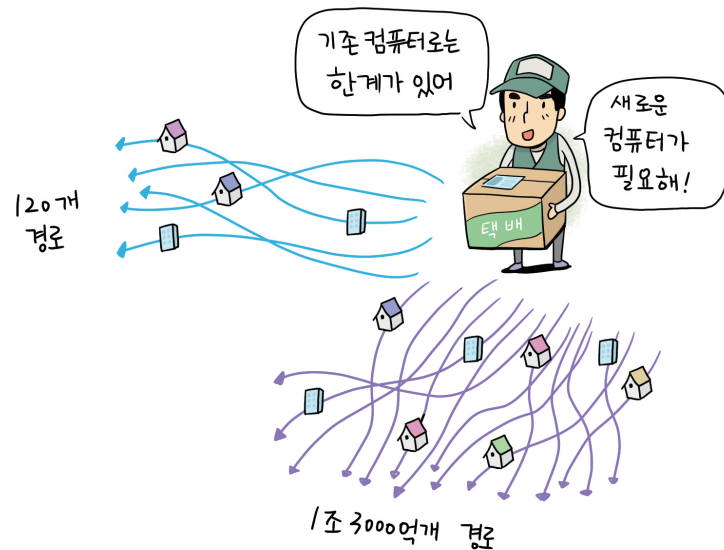
그러면 조합 최적화 문제란 무엇일까요? 일단 조합 최적화라는 말 자체가 대부분의 사람들에게 생소한 용어일 것입니다. 하지만 사실 따지고 보면, 우리의 주변에는 다양한 형태의 조합 최적화 문제가 이미 존재하고, 이러한 문제를 해결하는데 기존의 컴퓨터를 활용하고 있으나 기술적인 한계로 인해 만족스러운 결과를 얻어내지 못하고 있습니다.

예를 하나 들어볼까요? 우리가 주변에서 흔히 만날 수 있는 택배 기사는 과연 어떤 경로로 배송을 해야 최적화된 동선으로 배송을 마칠 수 있을까요?⁰⁶ 우리가 인터넷으로 주문한 물품을 택배 기사가 배송을 해야 하는데 하루에 다섯 곳을 돌아야 한다고 가정합니다. 그러면 모든 경우의 수를 따졌을 때 120개의 경로가 나옵니다.⁰⁷ 이 모든 경로들을 비교하다 보면 가장 짧은 경로는 나올 것이고 택배 기사는 그 경로를 따라 배송할 때 최단 거리로 효율적인 배송을 할 수 있을 것입니다. 이 정도의 조합 최적화는 그래도 할만합니다. 이번에는 방문지가 10곳이라고 가정해 보죠. 모든

06 역자 주: 이 유형은 '순회하는 외판원 문제(Traveling Salesperson Problem)'라는 이름으로 알려져 있다. 이 예에서는 이해가 쉽도록 외판원을 택배 기사로 바꿔서 설명한다.

07 역자 주: 5 팩토리얼로 계산한다. $5! = 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 120$

경우의 수를 따져보면 약 360만개의 경로가 나옵니다⁰⁸. 이것을 보면 방문지가 몇 개만 더 늘어나면 배송할 경로가 엄청난 경우의 수로 불어나는 것을 알 수 있는데요, 만약 15곳에 배송을 해야 한다면 가능한 경로의 개수는 무려 약 1조 3000억개를 넘어서게 됩니다⁰⁹.



▲ 아무리 좋은 컴퓨터라 하더라도 기존의 처리 방식만으로는 그 결과를 확인하는 것이 불가능하기도 합니다.

그렇다면 기존 컴퓨터로 이러한 경우의 수를 계산하면 어떤 결과가 나올까요? 일본의 슈퍼 컴퓨터 '경京'은 1초에 1경京번의 계산

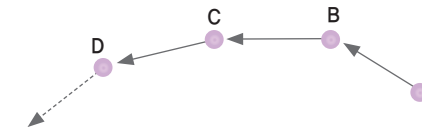
08 역자 주: 10 팩토리얼로 계산한다. $10! = 10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 3,628,800$

09 역자 주: 15 팩토리얼로 계산한다. $15! = 1,307,674,368,000$

을 할 수 있습니다. 여기서 1경은 1조兆의 1만萬배에 해당합니다. 순회할 방문지가 15곳이라면 계산은 한 순간에 끝나지만 30곳으로 늘어나면 모든 경우의 수로 따지면 1경의 1경이 되기 때문에, 슈퍼 컴퓨터 '경京'으로 계산을 해도 약 8억년이라는 시간이 필요합니다. 그것은 곧 아무리 성능이 좋은 컴퓨터라고 하더라도 기존의 처리 방식만으로는 그 결과를 확인하는 것이 사실상 불가능하다는 것을 의미합니다.

조합 최적화 문제의 예 순회하는 외판원 문제

택배 기사가 방문해야 할 방문지가 여러 곳일 때, 어떤 경로로 이동해야 최단 거리가 되는가?



방문지 수	경로에 대한 경우의 수	계산 시간*
5	120	1.2×10^{-14} 초
10	360만	3.6×10^{-10} 초
15	1조 3000억	0.00013초
25	1.6×10^{25}	49년
30	2.7×10^{32}	8.4억년
⋮	⋮	⋮

슈퍼 컴퓨터를 사용하더라도 계산이 끝나지 않는다..

* 슈퍼 컴퓨터 '경'을 사용하여 1초에 1경(10의 16제곱)번 계산하는 경우로 각 경로를 완전 탐색(Brute-force) 방식으로 찾는다.

▲ 조합 최적화 문제의 예