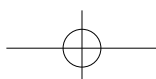
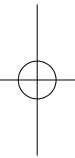
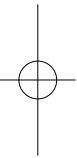
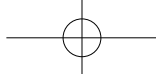


A l p h a g o

알파고를  
분석하며 배우는  
인공지능

Artificial Intelligence





# 最強囲碁AI アルファ碁 解体新書 増補改訂版 アルファ碁ゼロ対応 (Saikyolgo AI Alfago KaitaiShinsyo ZouhoKaiteiban : 5777-1)

Copyright © 2018 by TOMOSHI OHTSUKI, YOICHIRO MIYAKE.

Original Japanese edition published by SHOEISHA Co., Ltd.

Korean translation rights arranged with SHOEISHA Co., Ltd. in care of The English Agency (Japan) Ltd.  
through Danny Hong Agency.

Korean translation copyright © 2019 by J-PUB. Co., Ltd.

이 책의 한국어판 저작권은 대니홍 에이전시를 통해 저작권자와의 독점 계약으로 제이펍에 있습니다.  
저작권법에 의해 한국 내에서 보호를 받는 저작물이므로 무단전제와 복제를 금합니다.



**1쇄 발행** 2019년 7월 25일

**지은이** 오츠키 토모시

**옮긴이** 정인식

**펴낸이** 장성두

**펴낸곳** 제이펍

**출판신고** 2009년 11월 10일 제406-2009-000087호

**주소** 경기도 파주시 회동길 159 3층 3-B호

**전화** 070-8201-9010 / **팩스** 02-6280-0405

**홈페이지** www.jpub.kr / **원고투고** jeipub@gmail.com

**독자문의** readers.jpub@gmail.com / **교재문의** jeipubmarketer@gmail.com

**편집부** 이종무, 황혜나, 최병찬, 이슬, 이주원 / **소통·기획팀** 민지환, 송찬수 / **회계팀** 김유미

**교정·교열** 배규호 / **진행** 이종무 / **표지디자인** 미디어팩스 / **내지디자인** 이기숙

**용지** 신승지류유통 / **인쇄** 해외정판사 / **제본** 광우제책사

**ISBN** 979-11-88621-64-4 (93000)

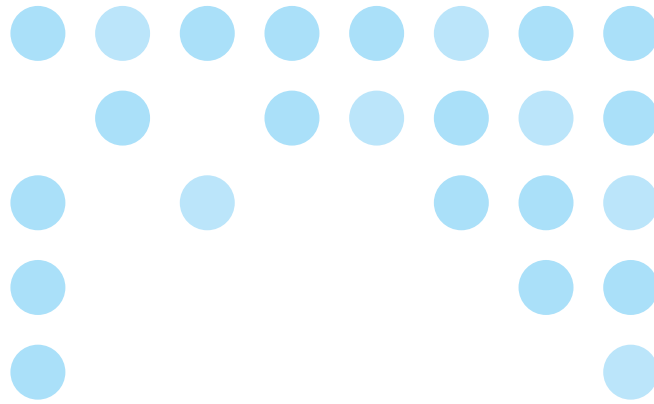
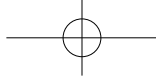
**값** 26,000원

※ 이 책은 저작권법에 따라 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 무단 복제를 금지하며,

이 책 내용의 전부 또는 일부를 이용하려면 반드시 저작권자와 제이펍의 서면동의를 받아야 합니다.

※ 잘못된 책은 구입하신 서점에서 바꾸어 드립니다.

제이펍은 독자 여러분의 아이디어와 원고 투고를 기다리고 있습니다. 책으로 펴내고자 하는 아이디어나 원고가 있는 분께서는 책의 간단한 개요와 차례, 구성과 저(역)자 약력 등을 메일로 보내주세요.  
jeipub@gmail.com

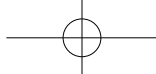


A l p h a g o

알파고를 를  
 분석하며 배우는  
 인공지능  
 Artificial Intelligence

오츠키 토모시 지음 | 정인식 옮김

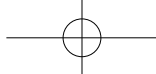




#### ※ 드리는 말씀

- 이 책에 기재된 내용을 기반으로 한 운용 결과에 대해 저자, 역자, 소프트웨어 개발자 및 제공자, 제이펍 출판사는 일체의 책임을 지지 않으므로 양해 바랍니다.
- 이 책에 등장하는 각 회사명, 제품명은 일반적으로 각 회사의 등록 상표 또는 상표입니다. 본문 중에는 ™, ©, ® 마크 등이 표시되어 있지 않습니다.
- 이 책에서 사용하고 있는 제품 버전은 독자의 학습 시점이나 환경에 따라 책의 내용과 다를 수 있습니다.
- 책 내용과 관련된 문의사항은 옮긴이나 출판사로 연락해 주시기 바랍니다.
  - 지은이: insik8463@gmail.com
  - 출판사: readers.jpub@gmail.com





# 차례

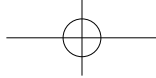
역자 머리말	x
이 책에 대하여	xii
감수자의 글	xvii
바둑 AI의 역사	xx
베타리더 후기	xxii
특별 대국 보고서:	
알파고와 커제 9단의 대결	xxiv

## CHAPTER 1 알파고의 등장 1

1.1 게임 AI의 역사와 발전	2
1.1.1 앨런 튜링과 AI	2
1.2 천재 데미스 하사비스의 등장	5
1.2.1 신동 데미스 하사비스	5
1.3 알파고의 활약	7
1.3.1 알파고의 활약	7
1.4 바둑 AI의 기초	13
1.4.1 바둑의 규칙	13
1.4.2 바둑 AI를 구현한다는 것은 무엇인가?	16
1.4.3 '다음의 한 수' 태스크	20
1.4.4 '다음의 한 수' 태스크의 어려운 점	21
1.4.5 머신 러닝을 이용한 '다음의 한 수' 태스크	22
1.4.6 알파고의 롤 아웃 정책 학습	26
1.5 정리	30

## CHAPTER 2 딥 러닝 - 바둑 AI는 순간적으로 수를 떠올린다 31

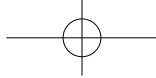
이 장에서 설명할 내용	32
2.1 딥 러닝이란?	34
2.1.1 AI는 사람의 직관을 실현할 수 있을까?	34



2.2 필기체 숫자 인식의 예	42
2.2.1 필기체 숫자 인식이란?	42
2.2.2 필기체 숫자 인식의 데이터 세트 'MNIST'	42
2.2.3 신경망을 사용한 필기체 숫자 인식	44
2.2.4 필기체 숫자 인식에 대한 컨볼루션 신경망	47
2.2.5 다단계의 신경망에서도 유효한 활성화 함수	51
2.2.6 오류 역전파 방법에 기초한 CNN의 필터 가중치 학습	54
2.2.7 화상 처리 CNN의 발전	60
2.3 알파고의 컨볼루션 신경망	64
2.3.1 알파고의 컨볼루션 신경망	64
2.3.2 '다음의 한 수' 태스크와 화상 인식의 유사성	65
2.3.3 바둑의 수를 선택하는 CNN - SL 정책 네트워크	66
2.3.4 SL 정책 네트워크의 입력 48채널의 특징	71
2.3.5 SL 정책 네트워크의 컨볼루션 계산 예	75
2.3.6 SL 정책 네트워크의 계산량	77
2.3.7 SL 정책 네트워크의 학습용 데이터 획득	81
2.3.8 SL 정책 네트워크의 학습 기법	84
2.3.9 SL 정책 네트워크의 학습 결과	87
2.3.10 국면의 유리 불리를 예측하는 CNN(밸류 네트워크)	90
2.4 Chainer로 CNN 학습시키기	93
2.4.1 MNIST의 신경망 학습 부분 작성하기	93
2.4.2 SL 정책 네트워크의 학습 부분 작성하기	96
2.5 정리	100

## CHAPTER 3 강화 학습 - 바둑 AI는 경험을 배운다 101

이 장에서 설명할 내용	102
3.1 강화 학습이란?	104
3.1.1 어떻게 경험에서 배울 것인가?	104
3.2 강화 학습의 역사	108
3.2.1 강화 학습	108
3.3 멀티 암드 밴딯 문제	112
3.3.1 강화 학습의 사례	112
3.3.2 UCB1 알고리즘	116
3.4 미로를 풀기 위한 강화 학습	118
3.4.1 4 × 4칸으로 이루어진 미로	118
3.4.2 가치 기반의 방식: Q 학습을 통해 미로 해결	120
3.4.3 정책 기반 방식: 정책 경사법을 통해 미로 해결	124



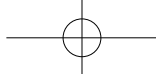
3.5 비디오 게임 조작 스킬을 얻기 위한 강화 학습	127
3.5.1 DQN	127
3.6 알파고의 강화 학습	131
3.6.1 알파고의 강화 학습	131
3.6.2 정책 경사법에 근거하는 강화 학습	134
3.6.3 RL 정책 네트워크의 성능	137
3.6.4 벨류 네트워크 학습용의 데이터 작성 기법	138
3.7 정리와 과제	143

## CHAPTER 4 탐색 - 바둑 AI는 어떻게 예측할까? 145

이 장에서 설명할 내용	146
4.1 2인 제로섬 유한 확정 완전 정보 게임	148
4.1.1 어떻게 수를 예측할까?	148
4.2 게임에서의 탐색	153
4.2.1 SL 정책 네트워크	153
4.3 기존의 게임 트리 탐색(민맥스 트리 탐색)	155
4.3.1 '완전 탐색'의 개념	155
4.3.2 탐색 포인트 - 가지치기와 평가 함수	162
4.4 바둑에서의 몬테카를로 트리 탐색	165
4.4.1 몬테카를로 방법	165
4.4.2 바둑에서의 몬테카를로 방법: 원시 몬테카를로	166
4.4.3 몬테카를로 트리 탐색	170
4.4.4 몬테카를로 트리 탐색의 결과와 최종적인 수 탐색	179
4.4.5 몬테카를로 트리 탐색의 개선	182
4.5 몬테카를로 트리 탐색의 성공 요인과 과제	185
4.5.1 CrazyStone과 Gnu Go	185
4.5.2 단 1줄로 다시 태어난 CrazyStone	186
4.6 정리	188
4.6.1 탐색	188

## CHAPTER 5 알파고의 완성 189

5.1 알파고의 설계도	190
5.1.1 알파고의 재료	190
5.1.2 전체를 제어하는 AI	192
5.2 비동기 정책 가치 갱신 몬테카를로 트리 탐색	195
5.2.1 세 가지 정책의 특징	195
5.2.2 비동기 정책 가치 갱신 몬테카를로 트리 탐색	197

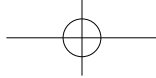


5.2.3 APV-MCTS의 선택 처리	200
5.2.4 APV-MCTS의 전개 처리	201
5.2.5 APV-MCTS의 평가 처리	201
5.2.6 APV-MCTS의 갱신 처리	202
<b>5.3 대량 CPU·GPU의 이용</b>	<b>204</b>
5.3.1 대량의 CPU와 GPU에 의한 병렬 탐색	204
5.3.2 로크리스 해시	206
5.3.3 가상 손실	208
<b>5.4 알파고의 강력함</b>	<b>211</b>
5.4.1 몬테카를로 트리 탐색, 밸류 네트워크, 정책 네트워크의 조합 효과	211

## CHAPTER 6 알파고에서 알파고 제로로 213

<b>6.1 시작에 앞서</b>	<b>214</b>
<b>6.2 알파고 제로에서의 딥 러닝</b>	<b>216</b>
6.2.1 듀얼 네트워크의 구조	218
6.2.2 듀얼 네트워크의 학습	224
6.2.3 알파고 제로의 딥 러닝 정리	227
<b>6.3 알파고 제로에서의 몬테카를로 트리 탐색</b>	<b>228</b>
6.3.1 알파고 제로의 몬테카를로 트리 탐색 개요	228
6.3.2 몬테카를로 트리 탐색의 플로 차트	230
6.3.3 알파고 제로의 몬테카를로 트리 탐색 정리	233
<b>6.4 알파고 제로에서의 강화 학습</b>	<b>234</b>
6.4.1 알파고 제로의 강화 학습 기법	236
6.4.2 강화 학습의 계산 시간	242
6.4.3 알파고 제로의 강화 학습은 무엇을 하고 있나?	245
6.4.4 강화 학습의 효과	247
6.4.5 알파고 제로의 강화 학습 정리와 그 후의 진전	248
<b>6.5 알파고 제로의 강력함</b>	<b>251</b>
<b>6.6 알파고 제로는 지식 없이 만들 수 있을까?</b>	<b>253</b>
<b>6.7 알파고나 알파고 제로에 약점은 있을까?</b>	<b>255</b>
6.7.1 알파고와 알파고 제로의 약점 가능성	255
<b>6.8 알파고 제로의 향후 미래</b>	<b>257</b>
6.8.1 바둑계의 미래는 어떻게 될까?	257
6.8.2 시의 과제	258





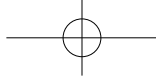
**Appendix 1** 수식에 관하여 263

A1.1	콘볼루션 신경망의 학습 법칙 도출	264
A1.1.1	SL 정책 네트워크의 학습 법칙 도출	264
A1.1.2	밸류 네트워크의 학습 법칙 도출	265
A1.1.3	듀얼 네트워크의 손실 함수에 관한 보충	267
A1.2	강화 학습의 학습 법칙 도출	269
A1.2.1	알파고의 RL 정책 네트워크 강화 학습 방법의 학습 법칙 도출	269
A1.2.2	미로를 예로 든 정책 경사법의 학습 법칙 도출	271

**Appendix 2** 바둑 프로그램용 UI 소프트웨어 GoGui 및 GoGui용 프로그램 DeltaGo 이용 방법 273

A2.1	DeltaGo란?	274
A2.1.1	DeltaGo의 특징	274
A2.2	GoGui의 설치 및 GoGui용 프로그램 DeltaGo 이용 방법	276
A2.2.1	DeltaGo 다운로드와 압축 풀기	276

찾아보기 ..... 289

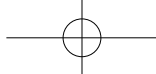


## 역자 머리말

역자가 AI(인공지능, Artificial Intelligence)란 단어를 접한 것은 대학교 1학년 때다. 그때 전산학 개론의 시험 문제로 'AI'라는 영어 약자의 전체 스펠링과 무엇을 의미하는지 쓰는 간단한 문제가 있었다. 대학에 입학했던 당시에는 아직 386 PC도 나오지 않은 상황이라 꽤 생소한 단어였고, 공상과학 영화에서나 접했던 AI를 현실 세계에 도입한다는 것은 먼 미래의 이야기라고 생각했다.

그런데 20여 년이 지난 지금, 인공지능은 여러 분야에서 맹활약하고 있다. 물론 인간의 창조적인 영역까지는 아직 갈 길이 멀지만, 이 책을 번역하면서 알파고와 알파고 제로가 채택한 인공지능의 지식 습득 방법이 인간의 지식 습득 방식과 유사하다는 것을 알고 얼마나 더 발전해 나갈지 기대 반 우려 반의 생각을 하게 되었다.

이 책은 인공지능에서 이론적인 부분과 활용적인 부분을 자세히 설명한 후, 현재 AI 기술의 가장 선두에 있는 구글의 알파고와 알파고 제로의 내면을 파헤쳤다. 알파고와 알파고 제로의 구현에 앞서, 주요 AI 기술들의 이론적인 부분을 다루었기에 내용이 다소 생소하고, 수학적 표현들도 많아 난해한 부분도 없지 않아 있지만, 저자는 될 수 있는 대로 이해하기 쉽도록 내용을 차근차근 풀어서 설명하고 있다. 머신 러닝, 딥 러닝, 듀얼 네트워크, 몬테카를로 트리 탐색 등 여러 기술에 대한 이론적인 설명을 토대로 필기체 문자 인식, 미로 찾기, 비디오 게임의 강화 학습 실현 방법과 바둑을 습득하는 알파고 및 알파고 제로의 내부 구조를 알기 쉬운 그림과 함께 설명하고 있다.



저자도 언급하지만, 이 책의 대상 독자는 주로 이공계 및 정보처리 계통의 학생이나 엔지니어이다. 그리고 알파고 논문의 이론적인 설명을 저자가 쉽게 풀어서 설명하고 있으므로 알파고와 최신 AI 기술에 관심 있는 사람들에게도 많은 도움이 될 것으로 생각한다. 부디 이 책을 통해 AI 기술의 핵심 지식을 얻길 바란다.

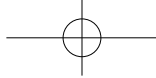
또 한 권의 책을 번역하게 해주신 하나님께 감사드린다. 번역과 교정, 그리고 편집 과정에서 많은 도움을 주신 분들께 이 자리를 통해 감사 말씀을 전한다. 특히 늘 아낌 없는 지원으로 함께 해주신 제이펍 장성두 대표님과 이 책의 전체적인 진행을 맡아 준 이종무 팀장님께 감사드린다. 또한, 디자이너분 등 출판 과정에서 수고해 준 모든 분들에게 감사드리며, 역자의 부족함을 메꿔 준 베타리더들에게도 고마움을 전한다.

마지막으로, 사랑하는 나의 아내와 하은, 시온에게도 감사하며, 올여름 즐거운 휴가를 떠날 것을 약속한다!

2019년 7월 일본 도쿄에서

정인식

역자 머리말 XI



# 이 책에 대하여

## 천재 바둑 기사와 바둑 AI '알파고'의 만남

‘오호~ 이런 수도 있을 수 있나?’ 한때 세계 체스 챔피언이나 최고의 장기 프로 기사들도 느꼈을 압도적인 위화감을 아마 이세돌 9단도 느끼지 않았을까? 알파고의 예상치 못한 한 수 앞에서 이세돌 9단은 온몸에 전율을 느끼는 듯했다. “또다시 공부해야 할 것들이 늘어났네요.” 세계 최고의 바둑 기사로 하여금 이렇게 말하게 한 상대는 바로 최강 바둑 AI인 ‘알파고(AlphaGo)’다.

2016년 3월 9일, 디데이는 의외로 빨리 왔다. 구글 딥 마인드가 개발한 알파고가 세계 최고의 바둑 기사 중 한 명으로 불리는 이세돌 9단에게 승리한 것이다. 그 후 알파고는 3연승을 하였고, 많은 관계자가 마른 침을 삼키며 지켜본 다섯 번의 대결은 4승 1패로 알파고의 승리였다. 천재 바둑 기사와 알파고의 대결에 대한 현장감 넘치는 해설 내용은 아래 참고문헌을 읽길 바란다.

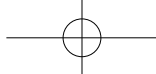


### 메모 | 참고문헌

《알파고 VS 이세돌: 인공지능과 바둑의 역사를 새로 쓴 7일간의 기록》(홍민표, 이상미디어, 2016)

## 세계에 전달된 충격

하지만 충격은 이것만으로 끝나지 않았다. 2017년 1월에는 바둑 대국 사이트인 ‘야코 바둑’에 나타난 ‘Master’라는 수수께끼의 플레이어가 세계 랭킹 1위의 커제(柯潔) 9단을 비롯해 일본 바둑의 일인자인 이아마 유타 9단 등 수준 높은 최고 기사들을 상대로 60



연승 무패라는 엄청난 성적을 남겼다. 그리고 나중에 이 수수께끼의 플레이어는 바로 알파고의 차기 버전인 것으로 드러났다.



#### 메모 | 야코 바둑

중국의 인터넷 대국 사이트 '야코 바둑'

URL <http://webigojp.com/>

역사적인 승리의 시간으로 거슬러 올라가 보자. 그때로부터 약 1개월 전인 2016년 1월 27일, 《네이처(Nature)》에 〈Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search〉라는 한 편의 논문이 게재되었다. 'Master(전문가가 된다)'라는 단어에서 최강 바둑 AI의 자부심과 자신감이 느껴졌다. 물론 이 논문은 앞서 언급한 구글 딥 마인드의 멤버에 의해 작성되었다. 이 시점에서 알파고는 이미 유럽 챔피언에 승리하였다. 상용 바둑 소프트웨어에 대해서는 494승 1패였다. 일본이 진행하고 있던 바둑 AI 연구인 흑선이 밀려나는 순간이었다.



#### 메모 | 이 책에서 참고한 《네이처》의 알파고 논문

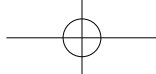
〈Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search〉

(David Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison, Arthur Guez, Laurent Sifre, George vanden Driessche, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Veda Panneershelvam, Marc Lanctot, Sander Dieleman, Dominik Grewe, John Nham, Nal Kalchbrenner, Ilya Sutskever, Timothy Lillicrap, Madeleine Leach, Koray Kavukcuoglu, Thore Graepel, Demis Hassabis, nature, 2016)

URL <https://www.nature.com/articles/nature16961.pdf>

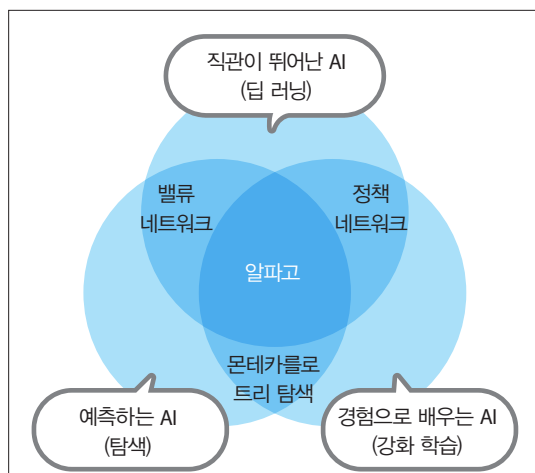
## 이 책의 구성

이 책에서는 프로 바둑 기사들의 기보를 학습시킴으로써 최고 수준의 바둑 기사를 이긴 바둑 AI가 어떻게 만들어졌는지를 설명한다. 또한, 필자의 바둑이나 장기 AI 개발의 경험도 감안하면서 알파고의 비밀을 조금이라도 많은 사람에게 전하고자 한다. 더 나아가, 알파고의 논문을 읽고 싶어하는 여러분에게도 도움이 되었으면 한다.



한편, 독자 중에는 ‘AI는 바둑만큼 난해한 것도 학습할 수 있으니까 다른 어떤 것이라도 학습할 수 있을 거야’, ‘이러다가 사람들이 하는 모든 일을 AI에게 빼앗기는 거 아니야?’라고 우려하는 사람이 있을지도 모르겠다. 그런 걱정은 일단 현재는 기우일 뿐이다.

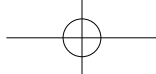
**그림 0.1** 처럼 알파고는 딥 러닝, 강화 학습, 탐색의 우수한 성질을 엔지니어의 창의성과 독창성의 조합으로 만들어 낸 것이다. 각각의 요소에는 ‘머신 러닝’이라는 기술이 사용되고 있는데, 이것은 ‘사람의 학습’과 비슷하면서도 다른 것이다. 따라서 현재로서는 AI가 자신의 힘으로 차례차례 인간 이상의 성과를 만들어 내는 일은 없을 것이다. 이러한 오해를 풀기 위해서라도 최근 급속히 발전하는 AI 기술의 요점도 함께 설명하고자 한다.



**그림 0.1** 알파고는 세 가지 AI로 구성된다

이 책에서는 다음의 세 가지 질문을 시작점으로 알파고의 구조를 설명한다.

- 바둑 AI는 직관을 실현할 수 있는가?
- 바둑 AI는 경험에서 배울 수 있는가?
- 바둑 AI는 어떻게 ‘예측’할까?



또한, 이 책의 초판 집필 시점(2017년 7월)에는 알파고에 대한 구글 딥 마인드의 기술적인 문헌이 2016년 1월에 게재된 《네이처》 논문 〈Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search〉밖에 없었다. 그 후 2017년 10월에 《네이처》 알파고 제로의 논문 〈Mastering the game of Go without human knowledge〉에서 강화 학습을 중심으로 한 새로운 연구 결과가 발표되었다. 그래서 이번 증보판에서는 6장을 중심으로 내용을 대폭 추가하였다. 이 책은 이러한 논문을 바탕으로 한 설명이라는 점을 이해해 주었으면 한다.



#### 메모 | 이 책에서 참고하는 《네이처》의 알파고 제로 논문

〈Mastering the game of Go without human knowledge〉

(David Silver, Julian Schrittwieser, Karen Simonyan, Ioannis Antonoglou, Aja Huang, Arthur Guez, Thomas Hubert, Lucas Baker, Matthew Lai, Adrian Bolton, Yutian Chen, Timothy Lillicrap, Fan Hui, Laurent Sifre, George Van Den Driessche, Thore Graepel, Demis Hassabis, Nature, 2017)

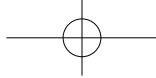
URL [https://deepmind.com/documents/119/agz\\_unformatted\\_nature.pdf](https://deepmind.com/documents/119/agz_unformatted_nature.pdf)

일반적으로 논문은 간결성과 신규성이 중시되므로 기존의 주요 개념에 대한 설명이 생략될 수도 있다. 그래서 이 책에서는 중요한 개념은 가능한 한 간단한 사례를 들어 살펴보고, 사례와 비유를 활용하는 것에 유념하여 가능한 한 알기 쉽게 설명했다. 한편으로는 내용을 너무 보충한 나머지 오히려 과한 부분도 있겠지만, 그런 부분은 양해해 주길 바란다.

이 책의 대상 독자는 주로 이공계 및 정보처리 계통의 학생이나 엔지니어를 가정하고 있지만, 가능한 한 수식에 의지하지 않는 설명을 하므로 알파고에 관심 있는 전문 분야 외의 사람들도 꼭 읽어 주기 바란다.

오츠키 토모시

이 책에 대하여 XV



## 대상 독자와 다운로드 파일 안내

### 대상 독자

- 인공지능 관련 개발에 종사하는 개발자 및 연구자
- 게임 AI 개발자

### 다운로드 파일에 대해서

이 책의 Appendix 2에서 소개하는 DeltaGo, GoGui는 다음 사이트에서 다운로드할 수 있다(2019년 7월 기준).

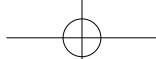
DeltaGo의 다운로드 페이지

**URL** <http://home.q00.itscom.net/otsuki/delta.html>

GoGui의 다운로드 페이지

**URL** <https://sourceforge.net/projects/gogui/files/gogui/1.4.9/>



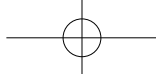


# 감수의 글

혹자는 인류를 초월하는 힘을 가졌다고 말하는 ‘알파고’ 이제 인공지능의 대명사라고도 불리는, 이 시대를 대표하는 바둑 AI인 알파고는 현대 인공지능의 발전에 기여한 딥러닝의 산물이기도 하다. 구글 딥 마인드로 만들어진 이 인공지능은 지금까지의 바둑 AI의 연구 성과에 보다 혁신적인 아이디어들을 조합해서 창조된, 현대에서 가장 웅장한 인공지능의 아키텍처 중 하나다. 이것은 외부에서 보는 것만으로도 매우 엄숙한 위엄이 있으며, 또한 그 안을 살펴보면 더욱 웅장한 구조물의 집합임을 알 수 있다. 여러 겹의 계층 구조를 이루면서 세심한 주의와 대담한 착상으로 설계되어 있다. 이 책은 그런 현대 인공지능의 기본적인 설계를 하나하나 착실하게 해설하고 있다.

이 책 초판의 밑바탕이 된 《네이처》 논문은 20페이지 정도로 이루어져 있으며, 다양한 인공지능의 기술이 조합되어 있다. 논문이라는 것은 연구자들의 공동 작업을 통해 만들어지고, 지금까지 연구된 성과를 바탕으로 한 논문을 토대로 다시 그것을 참고하는 형태의 새로운 논문이 계속 쌓여 간다. 그리고 때때로 그 분야의 성과를 집대성하고 새로운 국면을 개척하는 기념비적인 논문이 나타난다.

이 책 초판의 밑바탕이 된 〈Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search〉는 바로 바둑 AI의 오랜 성과를 집대성하는 동시에 새로운 바둑 AI의 세계를 개척한, 말하자면 하나의 산의 정점에 위치하는 중요한 논문이다. 그래서 인공지능 전문가는 말할 것도 없고, 연구자와 기술자를 불문하고 누구나가 ‘내용을 이해하고 싶어하는’ 보기 드문 논문이다. 이 책은 그런 논문을 이해하고자 하는 모든 분들의 요구



에 부응하고자 집필된 책이다.

다만, 이 논문에 포함된 기술은 어디서부터 설명해야 할지 망설이게 되는 내용이 대부분이다. 그래서 먼저 교묘하게 결정화된 기술을 하나씩 풀어서 해설한 후, 다시 그것들을 조합하는 어려운 작업이 필요했다. 그러나 저자인 오츠키 님은 그것을 수행할 수 있는 연구자로서의 성실함과 저술가로서의 친절함을 모두 지닌 보기 드문 재능의 소유자이며, 하나하나의 기술을 정중하게 해설하는 동시에 독자가 헤매지 않도록 올바른 곳으로 인도하는 이정표를 곳곳에 마련해 놓았다.

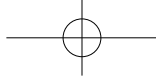
그것은 알파고라는 깊은 숲을 산책하기 위한 대국적인 지도에 해당하는 것이며, 하나하나의 설명은 그 위치에서 다시 세세하게 설명하고 있다. 세부 사항에 모르는 것이 있어도 일단은 읽어 나가 보자. 처음 보기에는 미로처럼 보이는 풍경도 이 책을 읽어 나가다 보면 보다 큰 풍경이 펼쳐질 것이고, 순식간에 이해할 수 있는 순간이 찾아올 것이다. 이리저리 왔다 갔다 하는 사이에 자신이 고민하던 것들을 이해하게 되고 그것이 커다란 길이 되어 갈 것이다.

또한, 이 책은 알파고를 이해하는 책인 동시에 바둑 AI 전반을 이해하는 책이기도 하다. 게다가 인공지능 전반에 대한 지식을 얻는 책이기도 하다. 알파고에는 현대 인공지능의 기초를 이루는 기술이 많이 포함되어 있으며, 이 책을 이해하는 것은 좀처럼 다뤄볼 기회가 없던 인공지능이라는 분야의 전모를 파악한다는 점에서 의미가 있다. 이 책 자체도 알파고를 밑바탕으로 하면서 인공지능 기술을 조합한 장대한 건축물이다. 이 건축물의 내부를 지나 꼭대기에 이르렀을 때는 지금까지 볼 수 없었던 거대한 인공지능의 풍경을 목격할 수 있을 것이다.

이 책의 초판은 대단한 호평을 얻었는데, 이번에 증보된 개정판에서는 새로운 알파고의 진화 버전인 '알파고 제로(AlphaGoZero)'의 해설이 추가되었다. 이것은 구글 딥 마인드가 2017년 10월에 《네이처》에 발표한 논문 〈Mastering the game of Go without human knowledge〉를 밑바탕으로 하고 있으며, 인간의 기보에 의존하지 않고 자가 학습에 의해 알파고의 능력을 완전히 넘어서게 된 배경에 관해 설명하고 있다.

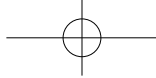
독자들은 새롭게 추가된 알파고 제로의 내용이 수록된 이 책을 읽음으로써 한층 더

## XVIII 감수자의 글



높은 패러다임, 즉 인공지능이 자율적인 학습을 통해 인간을 넘어서는 장면과 맞닥뜨릴 것이다.

일본 디지털 게임 학회 이사이자 게임 AI 연구자  
미야케 요이치로



# 바둑 AI의 역사

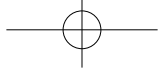
바둑 AI의 역사에 대해 간단히 다뤄 보겠다.

**그림 0.2**와 같이 2006년경까지 바둑 AI의 실력은 아마추어 초단 정도의 수준에 머물고 있었다. 여기에 몬테카를로 트리 탐색(MCTS, Monte-Carlo Tree Search)이라는 획기적인 방법이 등장한다. 이 방법에 의해 바둑의 '탐색'이 가능해졌고, 바둑 AI의 기력(棋力)은 단번에 아마추어 고단자 수준까지 높아졌다. 프로와의 4점 접바둑(AI 측이 먼저 바둑돌 4개를 둔 상태에서 시작)을 이길 수 있게 된 것도 이 무렵이다.

그러나 2010년 무렵부터 다시 진화의 속도가 둔화되었다가 최근 들어 딥 러닝 붐이 거 세계 일어났다. 2015년경부터 바둑에 딥 러닝을 적용하는 연구가 나타났고, 알파고는 컨볼루션 신경망(CNN, Convolutional Neural Network)이라는 기술에 의한 학습에 성공하였다. 또한, 알파고를 만든 구글 딥 마인드는 강화 학습 분야의 선구자이기도 하다. 이 책의 5장까지 소개하는 알파고 논문에서도 강화 학습에 대해 다루고 있는데, 최고의 프로 기사를 훨씬 뛰어넘은 비결은 6장에서 소개할 알파고 제로 논문의 새로운 강화 학습 기술에 있다.

이렇듯 알파고의 기술은 탐색, 딥 러닝, 강화 학습이라는 기술의 총체적인 집약 속에서 만들어져 온 것임을 알 수 있다. 딥 러닝과 강화 학습의 급속한 발전이 디데이를 10년 앞당긴 원동력이라고 말할 수 있다.

이 책에서는 이러한 기술의 계보에 대해서도 주목하면서 알파고 및 알파고 제로 기술을 설명한다.



몬테카를로 트리 탐색, 딥 러닝, 강화 학습 기술의 계보와 바둑 AI의 기력 향상

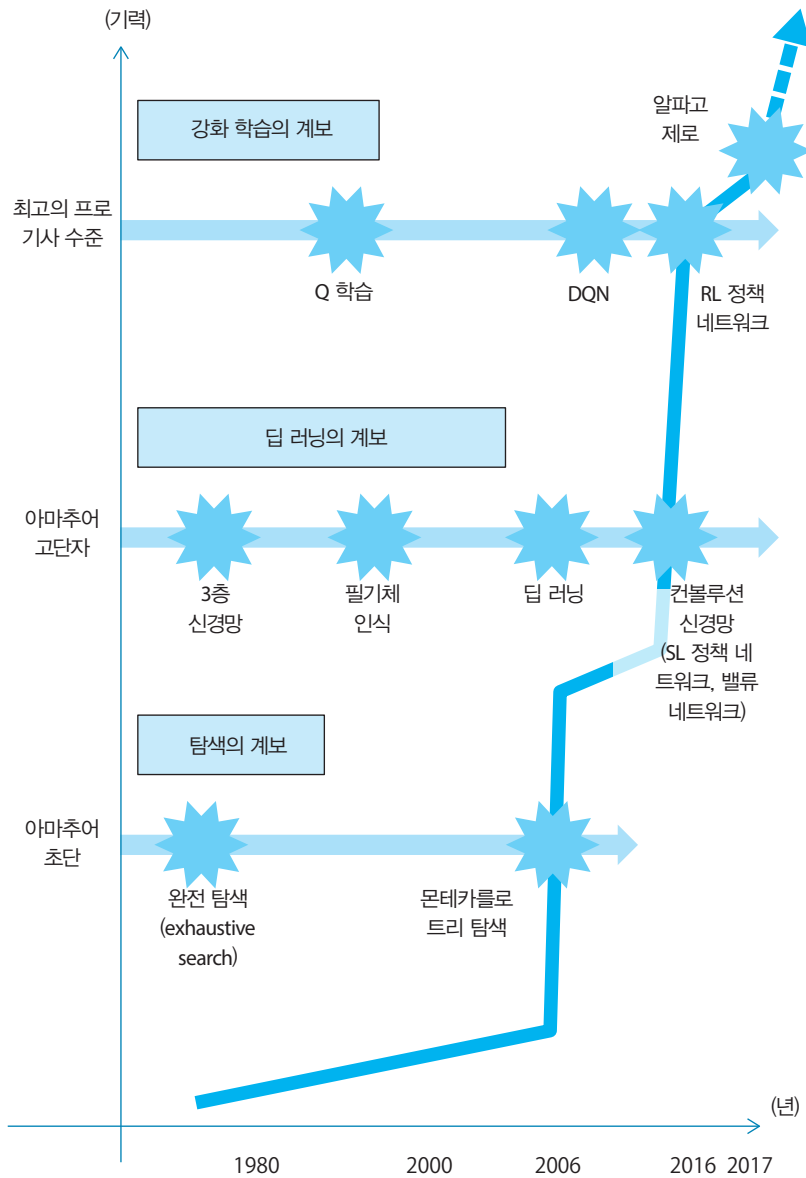
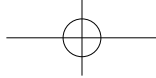


그림 0.2 바둑 AI의 역사



# 베타리더 후기

## 강찬석(LG전자)

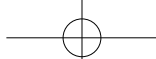
‘알파고는 바둑을 잘 두는 프로그램’이란 정도를 벗어나 알파고의 실제 내부 구조와 동작 원리를 잘 설명한 책입니다. 직접 구현하거나 확인하기에는 내용이 부족할 수 있지만, 알파고를 구성하는 강화 학습이나 지도 학습에 대한 설명을 통해 딥 러닝을 배우는 꽤 흥미로운 책입니다.

## 권성환(라인플러스)

딥 러닝이 실제 사용된 제품에 대한 상세한 사례 연구를 찾아보기 쉽지 않은데, 이 책은 알파고에서 딥 러닝이 어떻게 쓰였는지 단계별로 자세하게 분석했습니다. 따라서 딥 러닝 입문자와 관심 있는 분들에게 큰 도움이 될 것으로 생각합니다. 또한, 설명이 필요한 용어에는 메모가 잘 기재되어 있어 별도로 찾아보는 번거로움을 줄일 수 있는 장점도 있습니다.

## 김용현(Microsoft MVP)

저자는 알파고 논문을 참고하여 지도학습 기능 일부를 재현해 델타고(DeltaGo)를 만들었으며, 이를 기반으로 알파고와 관련된 딥 러닝 이야기를 풀어나가고 있습니다. 이 책을 통해 프로그래밍의 지식이나 수학적인 깊이 없이도 알파고의 구조에 대한 지식을 배울 수 있으며, 마치 의사 코드(pseudo code)를 보는 듯한 글과 그림을 통해 여러 언어에서 구현할 수 있는 아이디어를 얻을 수 있습니다.



### 박기훈(한국생산성본부)

저자의 꼼꼼함이 느껴지는 책으로, 그림과 순서도까지 있어 쉽게 이해할 수 있었습니다. 주요 키워드의 설명과 이와 관련한 내용까지 상세히 실고 있어 알파고에서 시작된 인공지능을 구체적으로 이해하는 데 많은 도움이 되었습니다. 또한, 저자가 만든 AI 바둑 프로그램의 설치와 사용법까지 설명되어 있어 바둑을 좋아하는 사람에게 또 다른 재미를 주는 책입니다.

### 박태현(삼성전자)

내용이 간결하며, 이해하기 쉽습니다. 인공지능을 잘 알지 못하는 분도 편하고 재밌게 읽을 수 있다고 생각합니다. 개발 서적이라고 하면 흔히 딱딱한 책들이 대부분이지만, 이렇게 재밌는 책을 집필한 저자와 먼저 읽어볼 기회를 준 제이펍에 감사드립니다.

### 이종우(uvaper)

알파고에 사용된 인공지능을 설명한 글은 많이 보았습니다. 하지만 이렇게 사용된 기법을 체계적으로 정리한 책을 보니 참 좋았습니다. 평소 알파고에 사용된 기법을 알고 싶은 분에게 추천합니다.