확률적인 자연, 자연적인 확률

김지훈

서울대학교 소프트웨어무결점연구센터

2014년 1월 13일

Outline

1. 물리
2. 확률
3. 강화학습

고전물리

고전물리를 한마디로 요약하면?

고전물리

고전물리를 한마디로 요약하면?

최소작용원리

물질의 운동은 비용을 최소화하는 경로를 따른다.

$$\text{Action} \equiv \int dt\, \mathcal{L}$$

(라그랑지안 = 운동에너지 - 위치에너지)

고전물리

고전물리를 한마디로 요약하면?

최소작용원리

물질의 운동은 비용을 최소화하는 경로를 따른다.

$$\text{Action} \equiv \int dt\, \mathcal{L}$$

(라그랑지안 $=$ 운동에너지 - 위치에너지)

물리? 운동에너지 적고 위치에너지 적고 제한조건 적고 풀면 끝!

Bjarne Stroustrup :

"만약 그것이 단순하다고 생각한다면, 문제를 잘못이해한 것이다"

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가?

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년.

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:
  - 인터넷 자료를 2진수 X로 변환.

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:
  - 인터넷 자료를 2진수 X로 변환.
  - X를 0이상 1미만의 실수로 변환.

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:
  - 인터넷 자료를 2진수 X로 변환.
  - X를 0이상 1미만의 실수로 변환.
  - 막대를 1:X 비율로 나누는 금을 긋는다.

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:
  - 인터넷 자료를 2진수 X로 변환.
  - X를 0이상 1미만의 실수로 변환.
  - 막대를 1:X 비율로 나누는 금을 긋는다.
- 왜 물분자는 $\mathrm{H_2O}$일까? $\mathrm{H_3O}$ 같은건 안되나?

생각나는 질문

- 나에게 자유의지가 있는가? (너무 철학적?)
- 보존기간 : HDD $\sim$ 십년. CD $\sim$ 백년. DNA $\sim$ 최소 수십억년??
- 전세계 인터넷 자료를 막대기 하나에 기록하는 법:
  - 인터넷 자료를 2진수 X로 변환.
  - X를 0이상 1미만의 실수로 변환.
  - 막대를 1:X 비율로 나누는 금을 긋는다.
- 왜 물분자는 $\mathrm{H_2O}$일까? $\mathrm{H_3O}$ 같은건 안되나?
- 물분자는 왜 다 똑같을까. 불량품은 없나?

양자물리

현대물리의 핵심중 하나.

양자역학

- 모든 물질은 파동함수 형태로 기술된다.
- 물질은 파동처럼 가능한 모든 경로로 동시에 진행한다.
- 실제 경로의 확률분포는 가능한 모든 경로의 합으로부터 주어진다.

양자물리

현대물리의 핵심중 하나.

양자역학

- 모든 물질은 파동함수 형태로 기술된다.
- 물질은 파동처럼 가능한 모든 경로로 동시에 진행한다.
- 실제 경로의 확률분포는 가능한 모든 경로의 합으로부터 주어진다.

그래도 법칙만 약간(?) 바뀌었을 뿐. 라그랑지안만 알면 끝!

양자물리

현대물리의 핵심중 하나.

양자역학

- 모든 물질은 파동함수 형태로 기술된다.
- 물질은 파동처럼 가능한 모든 경로로 동시에 진행한다.
- 실제 경로의 확률분포는 가능한 모든 경로의 합으로부터 주어진다.

그래도 법칙만 약간(?) 바뀌었을 뿐. 라그랑지안만 알면 끝!

입자물리

자연을 기술하는 올바른 라그랑지안 찾기.

미처 하지 못할 이야기

다루지 못한 현대물리 이야기:

- 비선형 동역학과 나비효과
- 특수상대성이론
- 중력
- ...

양자역학적 효과

확률적인 자연

- 속박된 물질이 가질 수 있는 상태의 수는 셀 수는 있을 만큼만 있다.
  즉 가능한 상태들이 불연속적이다!

양자역학적 효과

확률적인 자연

- 속박된 물질이 가질 수 있는 상태의 수는 셀 수는 있을 만큼만 있다.
  즉 가능한 상태들이 불연속적이다!
- 확률적으로만 무엇인가를 측정하거나 예측할 수 있다.

양자역학적 효과

확률적인 자연

- 속박된 물질이 가질 수 있는 상태의 수는 셀 수는 있을 만큼만 있다. 즉 가능한 상태들이 불연속적이다!
- 확률적으로만 무엇인가를 측정하거나 예측할 수 있다.
- 불확정성 정리: 이를테면, 속도와 위치를 동시에 정확히 측정하는것은 불가능하다.

양자역학적 효과

확률적인 자연

- 속박된 물질이 가질 수 있는 상태의 수는 셀 수는 있을 만큼만 있다. 즉 가능한 상태들이 불연속적이다!
- 확률적으로만 무엇인가를 측정하거나 예측할 수 있다.
- 불확정성 정리: 이를테면, 속도와 위치를 동시에 정확히 측정하는것은 불가능하다.
- 벨 부등식 : 양자역학의 비결정성은 우리의 무지에서 오는것이 아니다.

Richard Feynman :

"양자역학을 이해하고 있다고 생각한다면, 이해하지 못하고 있는것이다."

자연적인 확률

- 정보를 기록, 보존 하는데는 일정 이상의 자원이 필요하다.
- 생물체는 유한한 자원만을 가지고 있다.
  즉 우리는 근사적으로만 세상을 인지할 수 있다.
- 불완전한 정보를 가지고 최선의 결정을 내려야 한다.

자연적인 확률

- 정보를 기록, 보존 하는데는 일정 이상의 자원이 필요하다.
- 생물체는 유한한 자원만을 가지고 있다.
  즉 우리는 근사적으로만 세상을 인지할 수 있다.
- 불완전한 정보를 가지고 최선의 결정을 내려야 한다.

베이지안 확률

불확실성이 존재하는 상황에서 적용 가능하도록 확장된 논리.

확률 추론

확률함수가 주어졌을때 제한 조건 아래서 특정 확률을 구하기.

확률추론의 필요성

- 무식하면 몸이 고생.
- 몸이 편하자니 머리가 지끈.
- 왕도는 없다.

확률추론의 필요성

- 무식하면 몸이 고생.
- 몸이 편하자니 머리가 지끈.
- 왕도는 없다.
- 정보를 얻고, 가공하는데는 비용이 든다.
- 정보를 효율적으로 활용하지 못하는것은 낭비: 도태의 징후.
- 필요한 만큼만 정보를 얻어서, 최대한 활용 : 진화

확률추론의 필요성

- 무식하면 몸이 고생.
- 몸이 편하자니 머리가 지끈.
- 왕도는 없다.
- 정보를 얻고, 가공하는데는 비용이 든다.
- 정보를 효율적으로 활용하지 못하는것은 낭비: 도태의 징후.
- 필요한 만큼만 정보를 얻어서, 최대한 활용 : 진화

그런데 실제로 사람이 뭐 하나 결정할때마다
확률 모형을 세워가며 확률 추론을 하고 있을까?

시행착오로부터 배우기

시행착오를 겪어가며 하는 많은 일들:

- 걷기
- 축구
- 운전
- 로보틱스
- 네트워크 라우터
- 공급망, 재고 관리
- ...

시행착오와 확률추론

강화학습 (∼ 최적 제어)

1. 행동에 그에 따른 결과에 점수를 부여.
2. 더 좋은 점수를 받도록 행동을 적응시킴.
   즉, 비용을 최소화 하도록 시스템을 제어.

시행착오와 확률추론

강화학습 (∼ 최적 제어)

1. 행동에 그에 따른 결과에 점수를 부여.
2. 더 좋은 점수를 받도록 행동을 적응시킴.
   즉, 비용을 최소화 하도록 시스템을 제어.

- 비용이나 행동에 따른 결과에 불확실성이 없을경우 : 동적 계획법

시행착오와 확률추론

강화학습 (∼ 최적 제어)

1. 행동에 그에 따른 결과에 점수를 부여.
2. 더 좋은 점수를 받도록 행동을 적응시킴.
   즉, 비용을 최소화 하도록 시스템을 제어.

- 비용이나 행동에 따른 결과에 불확실성이 없을경우 : 동적 계획법
- 불확실성이 있는경우 : 많은 경우 확률추론 문제로 변환 가능.
- 어디서 들어본 이야기? : 물리학에서 경로 찾던 문제와도 비슷!
  특수한 경우, 강화학습 문제는 경로적분 문제로도 변환 가능.
- 확률추론, 경로적분에서 연구되어온 이론을 강화 학습에 적용 가능.

맺음말

- 자연법칙 부터가 확률적이다.
- 우리의 한계(불완전한 정보)로 인해 더더욱 확률적인것으로 보인다.
- 시행착오를 겪어가며 해오던 일이 있다면 강화 학습으로!
- 현 상황에서 다음 행동을 정하기 : 확률 추론.
- 문제는 문제를 제대로 적어야 한다는것 : 비용함수를 찾는것이 과제!
- 현대물리의 라그랑지안처럼 자연스러운 방식으로
  강화학습의 비용함수를 얻을 수 있을까?
- 강화학습 문제는 경로적분, 확률 추론 문제로 변환가능한 경우가 있다.