

講義 4: 実践推論 (1/2)
Practical Reasoning (Part 1)

内容

Part 1 (講義 4) :

1. 実践推論
2. 実践推論における意図
3. 手段-目的推論 (MER)
4. 実践推論エージェントの実装
5. 熟考
6. コミットメント (責務)
7. 参考文献

1. 実践推論 (1/2)

- 実践推論とは**行為を目指した推論**，つまり何をすべきかを見いだすプロセス。

“Practical reasoning is a matter of weighing conflicting consideration for and against competing options, where the relevant considerations are provided by what the agent desires/value/cares about and what the agent believes.” [Bratman87]

- 実践推論と理論推論の違い。理論推論は**信念に向けた推論**。

1. 実践推論 (2/2)

- 人の実践推論は二つの活動から構成される。
 - 熟考 (deliberation)
どのような様態 (state of affairs) を達成したいかを決定すること。
 - 手段-目的推論 (means-ends reasoning)
それらの様態をどのように達成するかを決定すること。
- 熟考の出力が意図 (intentions) となる。

2. 実践推論における意図 (1/6)

1. 意図はエージェントに問題を提起する。エージェントは意図を達成するための方法を決定する必要がある。

If I have an intention to φ , you would expect me to devote resources to deciding how to bring about φ .

2. 意図は、他の意図を取り入れるためにフィルタを提供し、これにより意図の衝突を回避する。

If I have an intention to φ , you would expect me to adopt an intention ψ such that φ and ψ are mutually exclusive.

3. エージェントは自己の意図の成功を観察し、試みが失敗した場合は再度試すことに傾倒する。

If an agent's first attempt to achieve φ fails, then all other things being equal, it will try an alternative plan to achieve φ .

2. 実践推論における意図 (2/6)

4. エージェントは自分の意図が可能であると信じている。

That is, they believe there is at least some way that the intentions could be brought about.

5. エージェントは不可能であると思っていることに関しては意図を持たない。

It would not be rational of me to adopt an intention to φ if I believe φ was not possible.

6. ある状況において、エージェントは自己の意図をもつ。

It would not normally be rational of me to believe that I would bring my intentions about; intentions can fail. Moreover, it does not make sense that if I believe φ is inevitable that I would adopt it as an intention.

2. 実践推論における意図 (3/6)

7. エージェントは自己の意図のすべての予期される副作用を意図する必要はない。

*If I believe $\varphi \Rightarrow \psi$ and I intend that φ , I do not necessarily intend ψ also. (Intentions are not closed under implication.) This last problem is known as the the **side effect** or **package deal** problem. I may believe that going to the dentist involve pain, and I may also intend to go to the dentist – but this does not imply that I intend to suffer pain!*

2. 実践推論における意図 (4/6)

- 意図は単なる願望よりもより強いものであることに注意。

“My desire to play basketball this afternoon is merely a potential influencer of my conduct this afternoon. It must view with my other relevant desires [...] before it is settled what I will do. In contrast, once I intend to play basketball this afternoon, the matter is settled; I normally need not continue to weigh the pros and cons. When the afternoon arrives, I will normally just proceed to execute my intentions”[Bratman, 1990]

2. 実践推論における意図 (5/6)

実践推論における意図の役割 (1/2)

- **意図は手段-目的推論を駆動する**: もしエージェントが意図を持てば, それを達成することを企てる. これは, その意図をどのように達成するを決定することである. さらに, ある特定の一連の行為の結果, 意図を達成することに失敗した場合は, 他の行為を試みる.
- **意図は持続する**: 受け入れられる理由が無ければ, エージェントは通常は意図を投げ捨てない. つまり意図は持続する. その意味するところは, 典型的には,
 1. エージェントがその意図を達成したと信じる
 2. もしくは, それを達成することが出来ないと信じる
 3. もしくはその意図を持つ理由はもはや存在しないと信じる,まで, 意図は持続する.

2. 実践推論における意図 (6/6)

実践推論における意図の役割 (2/2)

- **意図は未来の熟考を制約する**: 現在の意図に矛盾する選択肢は受け入れない.
- **意図は, 未来の実践推論が依拠する信念に影響を与える**: もしもある意図を選んだら, その意図を達成するという仮定の下に, 未来に対するプランを立てることができる. もしも, ある様態を達成することを意図していると同時に, それを達成しないということを信じていたら, そのエージェントは非合理的である.

2.1 プランニングエージェント

- 1970年代の初頭から，AIのプランニング (計画立案) 研究コミュニティは人工エージェントの設計に関心をもってきた．
- プランニングは本質的に自動プログラミングである．ある望まれた目標を達成する一連の行為の設計である．
- 記号主義 AI コミュニティの中では長い間，AIプランニングシステムは，すべての人工エージェントの中心的構成要素であると仮定されてきた．
- Fikes と Nilsson の初期の研究の上にたくさんの研究を積み重ねることで，多くのプランニングアルゴリズムが提案され，プランニング理論は良好に開発されてきた．

3. 手段-目的推論 (1/12)

MER (Means-Ends Reasoning): 状態空間探索手法の代表例.
ヒューリスティックな知識を次のような関数で表現し, 解を探索する (推論する).

1. 二つの状態の間の差異を計算する関数
2. 与えられた差異の解消に貢献する操作を選択する関数
3. 解として許される操作の系列に関する制約

3. 手段-目的推論 (2/12)

MER による状態空間探索.

Means-Ends Reasoning

1. 現在の状態を目標状態と比較する.
2. 差異を減少させる操作を選択する.
3. 可能なら, その操作を適用する. 可能でなければ, 現在の状態を退避し, MER をその操作の満足されない前提を満足する部分空間に適用する.
4. 部分問題が解決されたら, 退避された問題を回復しもとの問題に関する作業を再開する.

3. 手段-目的推論 (3/12)

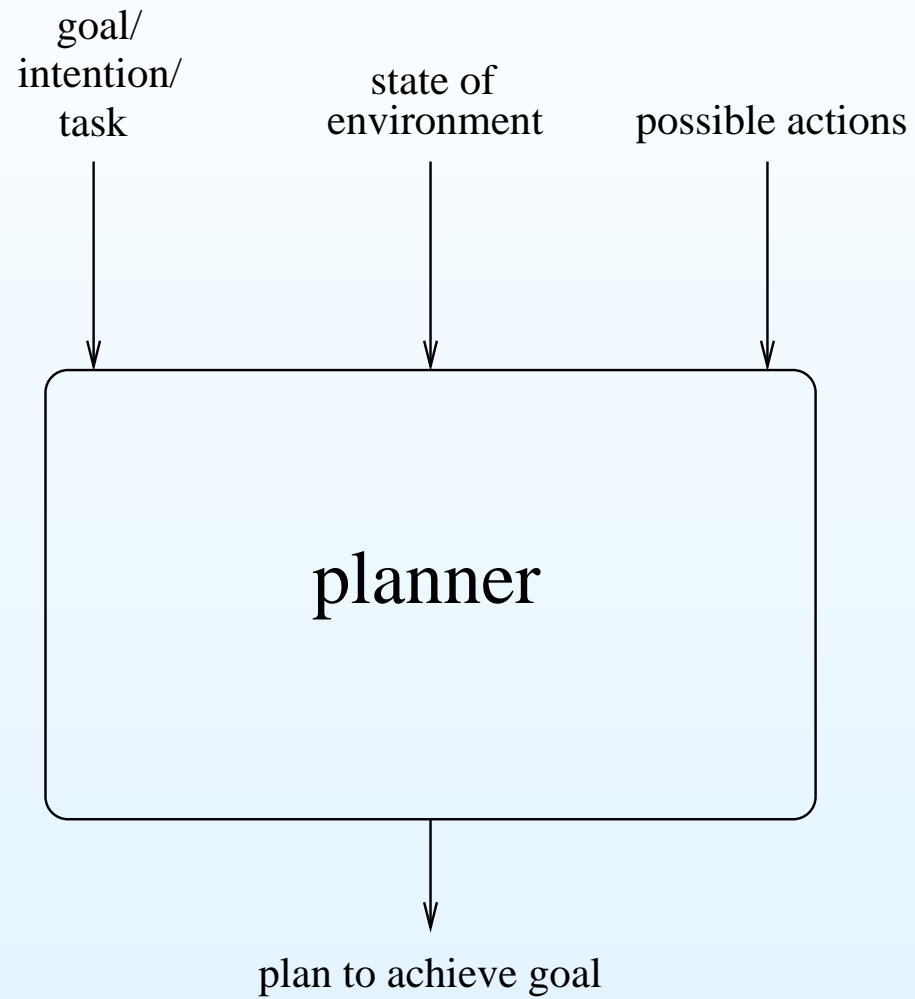
- エージェントに与える基本的なアイデア
 - 達成する目標 (goal)/意図 (intention) の表現
 - 実行する行為 (action) の表現
 - 環境 (environment) の表現

そして目標を達成するための**プラン**を生成させる。

- これは本質的に

自動プログラミング

3. 手段-目的推論 (4/12)

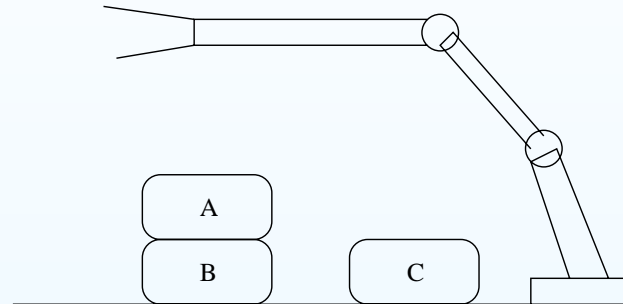


3. 手段-目的推論 (5/12)

- 問題：以下をどのように表現するか？
 - 達成する目標
 - 環境の状態
 - エージェントが可能な行為
 - プランそのもの

3. 手段-目的推論 (6/12)

積木の世界の例 (Block World and STRIPS)



積木の世界を記述する述語

Predicate	Meaning
$On(x, y)$	object x on top of object y
$OnTable(x)$	object x is on the table
$Clear(x)$	nothing is on top of object x
$ Holding(x)$	robot arm is holding x
$ArmEmpty$	robot arm empty (not holding anything)

3. 手段-目的推論 (7/12)

- この積木の世界の一階述語論理による記述

$\{Clear(A), On(A, B), OnTable(B), OnTable(C), Clear(C)\}.$

- エージェントの目標の一階述語論理による記述

$\{OnTable(A), OnTable(B), OnTable(C)\}.$

閉世界仮説 (CWA: Closed World Assumption) を採用する。つまり、記述されていないことは偽であると仮定する。

3. 手段-目的推論 (8/12)

STRIPS 形式化 (行為の形式的記述)

- 名前 (name): 行為の名前 (引数を持つことも可能)
- 前提条件リスト (precondition list): 行為を実行するために真でなければならない事実のリスト
- 消去リスト (delete list): 行為が実行された後にもはや成立しない事実のリスト
- 追加リスト (add list): 行為の実行により真となる事実のリスト

(例 1): *stack* 行為

```
Stack(x, y)  
pre  {Clear(y), Holding(x)}  
del  {Clear(y), Holding(x)}  
add  {ArmEmpty, On(x, y)}
```

3. 手段-目的推論 (9/12)

(例 2) *unstack* 行為

UnStack(x, y)

pre {*On*(x, y), *Clear*(x), *ArmEmpty*}

del {*On*(x, y), *ArmEmpty*}

add { *Holding*(x), *Clear*(y)}

(例 3) *pickup* 行為

Pickup(x)

pre {*Clear*(x), *OnTable*(x), *ArmEmpty*}

del {*OnTable*(x), *ArmEmpty*}

add { *Holding*(x)}

3. 手段-目的推論 (10/12)

(例 4) *putdown* 行為

PutDown(x)

pre $\{ \textit{Holding}(x) \}$

del $\{ \textit{Holding}(x) \}$

add $\{ \textit{ArmEmpty}, \textit{OnTable}(x) \}$

3. 手段-目的推論 (11/12)

プラン π : 目的を達成するための行為の系列

$pre(\pi)$: プラン π の前提条件

$body(\pi)$: プラン π の本体

$empty(\pi)$: プラン π が空列の時に真となる述語

$execute(...)$: 単一プランを入力とし, 実行する手続き

$head(\pi)$: プラン π の最初の行為 (例えば, π の本体が $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ のとき $head(\pi)$ の本体は行為 α_1 だけを含む).

$tail(\pi)$: プラン π から最初の行為を除いた残りの行為列 (例えば, π の本体が $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ のとき, $tail(\pi)$ の本体は $\alpha_2, \dots, \alpha_n$ を含む)

$sound(\pi, I, B)$: 信念の集合 $B \subseteq Bel$ が与えられたときに, プラン π が意図の集合 $I \subseteq Int$ に対して正しいプランであることを意味する.

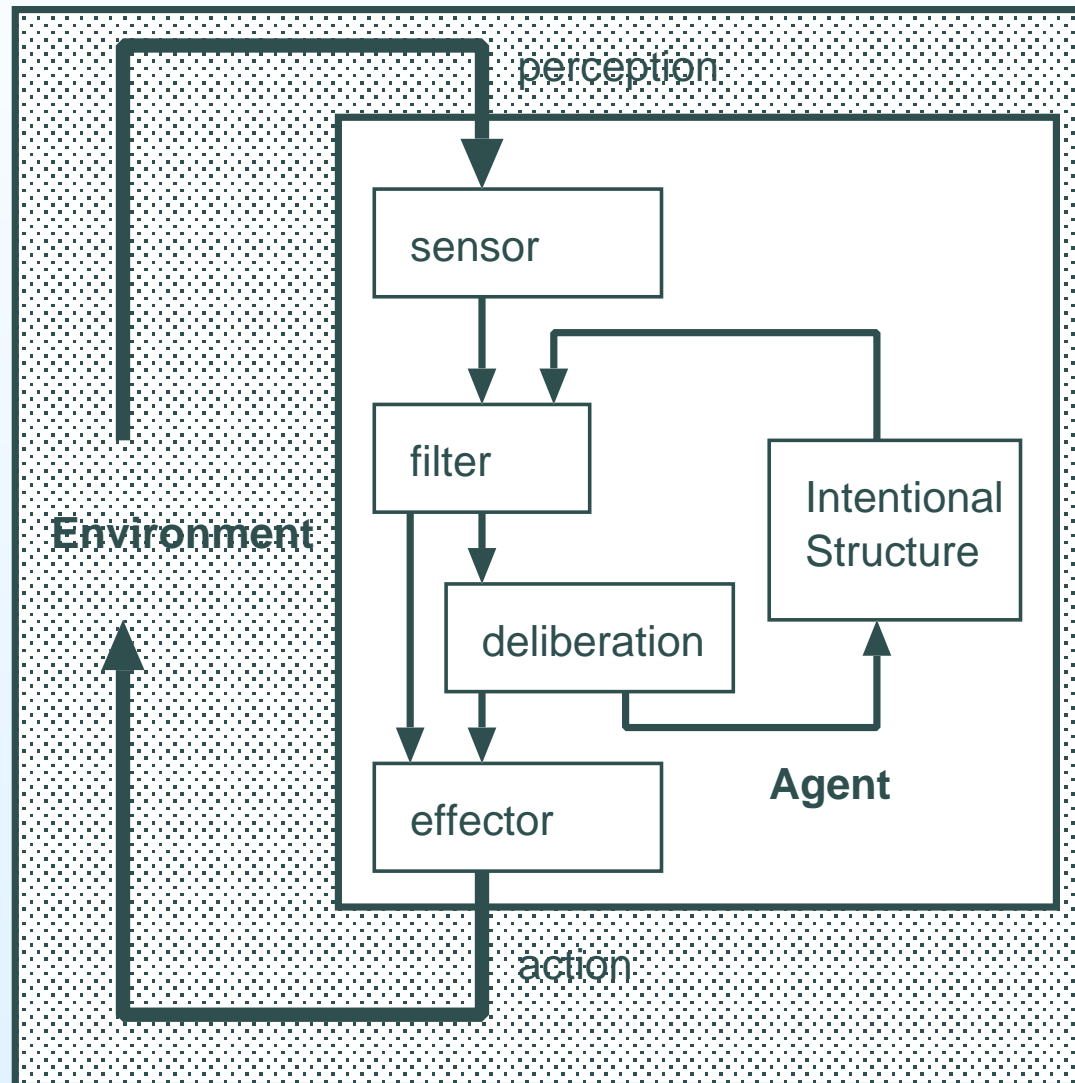
3. 手段-目的推論 (12/12)

エージェントの手段-目的推論能力は以下の関数で表される。

$$plan : \wp(Bel) \times \wp(Int) \times \wp(Ac) \rightarrow Plan,$$

4. 実践推論エージェントの実装 (1/9)

エージェントアーキテクチャ



4. 実践推論エージェントの実装 (2/9)

- 実践推論エージェントの実装 (version 1)

```
Agent Control Loop Version 1
1.  while true
2.      observe the world;
3.      update internal world model;
4.      deliberate about what intention
           to achieve next;
5.      use means-ends reasoning to get
           a plan for the intention;
6.      execute the plan;
7.  end while
```

4. 実践推論エージェントの実装 (3/9)

- **問題:** 熟考や手段-目的推論のプロセスは即時終了するわけではない。時間コストがかかる。
- エージェントが時刻 t_0 に熟考を開始し，時刻 t_1 に手段-目的推論をそして，時刻 t_2 にそのプランの実行を開始したとする。熟考に要する時間は

$$t_{deliberate} = t_1 - t_0$$

であり，手段-目的推論に要する時間は，

$$t_{mer} = t_2 - t_1$$

となる。

4. 実践推論エージェントの実装 (4/9)

- さらに，達成するある意図を選んだときに，それがエージェントにとって最良のものであるとき，この熟考は最適であるという (期待効用の最大化).
- エージェントは時刻 t_1 で達成する意図を選択するが，それは時刻 t_0 において達成されていれば最適だったものである。しかし， $t_{deliberate}$ がきわめて短い時区間でなければ，エージェントにより選ばれた意図が，もはや最適ではないというリスクを背負わなければならない。
これを計算合理性 (calculative rationality) という。
- 熟考は問題の半分であり，エージェントはさらに，その意図をどのように達成するかを決定しなければならない。

4. 実践推論エージェントの実装 (5/9)

- よって，このエージェントは以下の状況において全体的に最適挙動をしめす。
 1. 熟考と手段-目的推論が無視できるほど短い時間で終了する場合.
 2. エージェントが熟考と手段-目的推論を行っている間，世界が静止していると保障できる場合.
これにより，達成する意図の選択と意図を達成するプランの選択を行う場合の仮定は，エージェントが熟考と手段-目的推論を完了するまで妥当 (valid) であり続ける.
 3. 時刻 t_0 (世界を観測した時刻) において達成されたときに最適である意図が，時刻 t_2 (エージェントが意図を達成するための一連の行為をみつけた時刻) まで最適であり続けると保障できる場合.

4. 実践推論エージェントの実装 (6/9)

記法, 集合, および関数の定義 (1/3)

L : 古典的第一階論理の文の集合

$D = \wp(L)$: L データベースの集合. つまり, L -論理式の集合の集合. エージェントの内部状態でもある.

see : エージェントの知覚関数

$$see : S \rightarrow Per.$$

$next$: 次状態関数 (データベースと知覚を新しいデータベースに写像)

$$next : D \times Per \rightarrow D.$$

$action$: 行為選択関数

$$action : D \rightarrow Ac,$$

4. 実践推論エージェントの実装 (7/9)

記法, 集合, および関数の定義 (2/3)

B : エージェントの現在の信念の集合

Bel : 可能な信念の全集合

D : エージェントの現在の願望の集合

Des : 可能な願望の全集合

I : エージェントの現在の意図の集合

Int : 可能な意図の全集合

Per : エージェントの知覚

4. 実践推論エージェントの実装 (8/9)

記法, 集合, および関数の定義 (3/3)

options : 選択肢生成関数 (Options Generation Function)

$$options : \wp(Bel) \times \wp(Int) \rightarrow \wp(Des).$$

filter : 選別関数 (Filtering)

$$filter : \wp(Bel) \times \wp(Des) \times \wp(Int) \rightarrow \wp(Int).$$

brf : 信念翻意関数 (Belief Revision Function)

$$brf : \wp(Bel) \times Per \rightarrow \wp(Bel).$$

4. 実践推論エージェントの実装 (9/9)

- 実践推論エージェントの実装 (version 2)–より形式的な実装–

```
Agent Control Loop Version 2
1.   $B := B_0$ ; /* initial belief */
2.  while true do
3.      get next percept  $\rho$ ;
4.       $B := brf(B, \rho)$ ;
5.       $I := deliberate(B)$ ;
6.       $\pi := plan(B, I, Ac)$ ;
7.       $execute(\pi)$ ;
8.  end while
```


5. 熟考 (1/3)

- エージェントはどのように熟考するか？
 - どういう選択肢 (options) があるか？
 - その選択肢の中から一つ選び，それにコミットする
ということを理解することからはじめる。
- 選ばれた選択 (option) が意図となる。

5. 熟考 (2/3)

- 熟考関数は二つの異なる関数構成要素に分解可能
 - 選択肢生成:
これによりエージェントは選択肢 (集合) を生成する。
選択肢生成を関数 *option* により実現する。この関数はエージェントの現在の信念と意図の候補を引数としてとり、選択肢の集合 (= 願望 (*desire*)) を決定する。
 - 選別 (*filtering*):
これによりエージェントは競合する選択肢の中から意図を選び、それを達成することにコミットする。
これは *filter* 関数により行われる。

5. 熟考 (3/3)

Agent Control Loop Version 3

```
1.  $B := B_0$ ; /* initial belief */
2.  $I := I_0$ ; /* initial intention */
3. while true do
4.     get next percept  $\rho$ ;
5.      $B := brf(B, \rho)$ ;
6.      $D := options(B, I)$ ;
7.      $I := filter(B, D, I)$ ;
8.      $\pi := plan(B, I, Ac)$ ;
9.      $execute(\pi)$ ;
10. end while
```

6. コミットメント (責務) (1/11)

コミットメント 物語 [Cohen90](1/4)

Some time in the not-so-distant future, you are having trouble with your new household robot. You say “Willie, bring me a beer.” The robot replies “OK boss.” Twenty minutes later, you screech “Willie, why didn’t you bring me that beer?” It answers “Well, I intended to get you the beer, but I decided to do something else.” Miffed, you send the wise guy back to the manufacturer, complaining about a lack of commitment.

6. コミットメント (責務) (2/11)

コミットメント 物語 [Cohen90](2/4)

After retrofitting, Willie is returned, marked “Model C: The Committed Assistant.” Again, you ask Willie to bring you a beer. Again, it accedes, replying “Sure thing.” Then you ask: “What kind of beer did you buy?” It answers: “Genessee.” You say “Never mind.” One minute later, Willie trundles over with a Genessee in its gripper. This time, you angrily return Willie for overcommitment.

6. コミットメント (責務) (3/11)

コミットメント 物語 [Cohen90](3/4)

After still more tinkering, the manufacturer sends Willie back, promising no more problems with its commitments. So, being a somewhat trusting customer, you accept the rascal back into your household, but as a test, you ask it to bring you your last beer. Willie again accedes, saying “Yes, Sir.” (Its attitude problem seems to have been fixed.) The robot gets the beer and starts towards you. As it approaches, it lifts its arm, wheels around, deliberately smashes the bottle, and trundles off.

6. コミットメント (責務) (4/11)

コミットメント物語 [Cohen90](4/4)

Back at the plant, when interrogated by customer service as to why it had abandoned its commitments, the robot replies that according to its specifications, it kept its commitments as long as required – commitments must be dropped when fulfilled or impossible to achieve. By smashing the bottle, the commitment became unachievable. [Cohen90]

6. コミットメント (責務) (5/11)

- 合理的エージェントに関する研究では以下の**コミットメント戦略**が一般的である。
 - **盲目的コミットメント (Blind)**
盲目的にコミットしたエージェントは、意図が達成されるまで、その意図を持ち続ける。盲目的コミットメントは、時に**狂信的 (fanatical)** コミットメントともよばれる。
 - **一意専心コミットメント (Single-minded)**
一意専心エージェントは、意図が達成されたと信じるか、もしくはその意図を達成することはもはや不可能と信じるまで、その意図を持ち続ける。
 - **無偏見コミットメント (Open-minded)**
無偏見 (心が広い) エージェントは、意図の達成がまだ可能であると信じられている限り、その意図を持ち続ける。

6. コミットメント (責務) (6/11)

- エージェントは目的 (つまり, 達成したい状態 (state of affairs)) と手段 (つまり, 目的の状態を達成するためのメカニズム) の両方にコミットメントを持つ.
- 今のところ, 我々のエージェントの制御ループは, 手段と目的の両方に過責務 (overcommitted) となっている.
修正: あるプランがうまく行かなければ**修正** (*replan*) する.

6. コミットメント (責務) (7/11)

```
Agent Control Loop Version 4 (part 1/2)
1.   $B := B_0$ ; /* initial belief */
2.   $I := I_0$ ; /* initial intention */
3.  while true do
4.      get next percept  $\rho$ ;
5.       $B := brf(B, \rho)$ ;
6.       $D := options(B, I)$ ;
7.       $I := filter(B, D, I)$ ;
8.       $\pi := plan(B, I, Ac)$ ;
    (continue to the next page)
```

6. コミットメント (責務) (8/11)

Agent Control Loop Version 4 (part 2/2)
(continue from the previous page)

```
9.      while not empty( $\pi$ ) do
10.          $\alpha := head(\pi);$ 
11.         execute( $\alpha$ );
12.          $\pi := tail(\pi);$ 
13.         get next percept  $\rho$ ;
14.          $B := brf(B, \rho);$ 
15.         if not sound( $\pi, I, B$ ) then
16.             $\pi := plan(B, I, Ac);$ 
17.         end-if
18.     end-while
19. end-while
```

6. コミットメント (責務) (9/11)

- これでもまだ意図に対して過責務になっている。つまり、意図が適切であるかどうかを考慮するために停止するということが決してない。
- 修正: 意図が成功したか不可能であるかを決定するために停止する。(一意専心コミットメント)

6. コミットメント (責務) (10/11)

```
Agent Control Loop Version 5 (part 1/2)
1.   $B := B_0$ ; /* initial belief */
2.   $I := I_0$ ; /* initial intention */
3.  while true do
4.      get next percept  $\rho$ ;
5.       $B := brf(B, \rho)$ ;
6.       $D := options(B, I)$ ;
7.       $I := filter(B, D, I)$ ;
8.       $\pi := plan(B, I, Ac)$ ;
    (continue to the next page)
```

6. コミットメント (責務) (11/11)

Agent Control Loop Version 5 (part 2/2)
(continue from the previous page)

```
9.      while not (empty( $\pi$ ) or
                succeeded( $I, B$ ) or impossible( $I, B$ )) do
10.           $\alpha := \textit{head}(\pi);$ 
11.          execute( $\alpha$ );
12.           $\pi := \textit{tail}(\pi);$ 
13.          get next percept  $\rho$ ;
14.           $B := \textit{brf}(B, \rho);$ 
15.          if not sound( $\pi, I, B$ ) then
16.               $\pi := \textit{plan}(B, I, Ac);$ 
17.          end-if
18.      end-while
19. end-while
```

参考文献

Bratman87 Bratman, M. E. (1987) *Intention, Plans and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Cohen90 Cohen, P. R. and Levesque, H. J. (1990a) Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, **42**, 213–261.