

講義 5: 実践推論 (2/2)
Practical Reasoning (Part 2)

内容

Part 2 (講義 5) :

7. 意図再考
8. 最適な意図の再考
9. BDI 理論
10. BDI 論理
11. BDI エージェントの実装: IRMA
12. BDI エージェントの実装: PRS
13. HOMER: プランニングエージェント
14. 参考文献

7. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (1/8)

- Version 5 のエージェントは、以下の場合に、外側の制御ループで毎回、意図を再考している
 - 現在の意図を達成するためのプランを完全に実行した時
 - 現在の意図を達成したと信じた時
 - 現在の意図はもはや達成不能と信じた時
- これは意図を再考することに関して、制限がある
- **修正:** 各行為を実行したあとに意図を再考するようにする。

7. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (2/8)

```
Agent Control Loop Version 6 (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. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (3/8)

Agent Control Loop Version 6 (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.           $D := \textit{options}(B, I);$ 
16.           $I := \textit{filter}(B, D, I);$ 
17.          if not sound( $\pi, I, B$ ) then
18.               $\pi := \textit{plan}(B, I, Ac);$ 
19.          end-if
20.      end-while
21. end-while
```

7. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (4/8)

- しかしながら，意図の再考は計算コストが高い

ジレンマ:

- 意図を再考するためにエージェントを十分に頻繁に止めないと，その意図が達成不能であることが明白となった後，もしくは，もはやその意図を達成するいかなる理由も存在しない場合でも，その意図を達成するための試みを継続してしまう。
- 常に意図を再考しているエージェントは，意図を達成するための作業に十分な時間が割けないかも知れない。それによりいつになっても意図が達成できない危険性がある。
- **解決方法:** 意図を再考するかどうかを決定するための明示的な **メタレベル制御** 構成要素を導入する。

7. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (5/8)

```
Agent Control Loop Version 7 (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 (part 2/2))
```

7. 意図の再考 (Intention Reconsideration) (6/8)

```
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 reconsider( $I, B$ ) then
16.               $D := \textit{options}(B, I);$ 
17.               $I := \textit{filter}(B, D, I);$ 
18.          end-if
19.          if not sound( $\pi, I, B$ ) then
20.               $\pi := \textit{plan}(B, I, Ac);$ 
21.          end-if
22.      end-while
23. end-while
```


8. 意図の最適再考 (1/2)

- Kinny と Georgeff は意図を再考する戦略の効果を実験により調査した ([Kinny91,Osawa93])
- 二つの異なる再考戦略が使われた
 - 大胆 (bold) なエージェント
 - 慎重 (cautious) なエージェント
- 環境の動特性 (dynamism) は環境変動率 γ により表現される

8. 意図の最適再考 (2/2)

- 実験の結果

- γ が低い (つまり, 環境が即時変化しない) 場合は, 大胆なエージェントは慎重なエージェントに比較してうまくいく。これは, 大胆なエージェントはその意図を達成することに専念するのに対して, 慎重なエージェントはコミットメントを再考するのに時間を費すからである
- γ が高い (つまり, 環境が頻繁に変化する) 場合は, 慎重なエージェントの方が大胆なエージェントより性能が優れてくる。これは, 慎重なエージェントは意図がうまくいかない運命にあるとき, それを再考することができ, また, 思いもしなかった好運な状況や新しい機会が生じた時にそれを偶然発見することができるからだ。

9. BDI 理論と実践 (1/1)

- 次に, BDI アーキテクチャの**意味論**について考える. ここでは, BDI エージェントがどのくらい**エージェント理論**を満足しているかを考える
- BDI アーキテクチャに意味論を与えるために, Rao と Georgeff は **BDI 論理** (様相演算子により信念, 願望, 意図を表現する非古典的論理) を開発した
[Rao91a,Rao91b,Rao92,Rao93,Rao95]
- 基本 BDI 論理は表現分岐時間論理 CTL の拡張
- 根底にある意味構造は**ラベル付き分岐時間フレームワーク**

10. BDI 論理 (1/6)

- 古典論理 (命題論理, 一階述語論理) 結合演算子: $\wedge, \vee, \neg, \dots$
- CTL パス限量子:

A_ϕ 'on all paths, ϕ '

E_ϕ 'on some paths, ϕ '

- BDI 結合子:

$(Bel\ i\ \phi)$ *i believes ϕ*

$(Des\ i\ \phi)$ *i desires ϕ*

$(Int\ i\ \phi)$ *i intends ϕ*

10. BDI 論理 (2/6)

- B-D-I 構成要素の意味論は世界に関する到達可能性関係 (accessibility relation) により与えられる。ここで、世界それ自身は分岐時間構造。
到達可能性関係により要求される特性は、信念論理 KD45, 願望論理 KD, 意図論理 KD を保証する (講義ノート PartD 「マルチエージェントシステムのための論理」を参照)。

10. BDI 論理 (3/6)

- BDI 論理のいくつかの公理を紹介し，BDI アーキテクチャがどの程度これらの公理を満足しているのかを考察する
- まず，以下を仮定する
 - α を 0-論理式とする (つまり， A に関する肯定命題を含まない)
 - ϕ を任意の論理式とする

10. BDI 論理 (4/6)

- 信念目標無矛盾性:

$$(Des \alpha) \Rightarrow (Bel \alpha)$$

これは、もしもエージェントが選択肢として何かを達成する目標を持っていたら、その目標は選択肢の一つとなることを意味している。

この公理は *options* 関数で操作される。一つの選択肢は、もしも可能であると信じられていなければ、生成されない。

- 目標意図無矛盾性:

$$(Int \alpha) \Rightarrow (Des \alpha)$$

これは、選択肢として何かを達成する意図を持つことは、それを目標として持つことを含意する、ことを意味する (目標でない意図はない)。この公理は *deliberate* 関数で操作される。

10. BDI 論理 (5/6)

- 意志によるコミットメント:

$$(Int\ does(a)) \Rightarrow does(a)$$

もしも次にある行為 a を実行することを意図するなら, 次に a を行う.

この公理は *execute* 関数で操作される.

- 目標と意図の自覚:

$$(Des\ \phi) \Rightarrow (Bel\ (Des\ \phi))$$

$$(Int\ \phi) \Rightarrow (Bel\ (Int\ \phi))$$

10. BDI 論理 (6/6)

- 無意識な行為の不可能性 (禁止):

$$done(a) \Rightarrow (Bel\ done(a))$$

もしもエージェントがある行為を行えば、そのエージェントはその行為を行ったことを自覚していなければならない。

execute 関数により操作される。

- 無限延期の不可能性 (禁止):

$$(Int\ \phi) \Rightarrow A\Diamond(\neg(Int\ \phi))$$

エージェントはいつか意図のための行為をするか、もしくはその意図を捨てる。

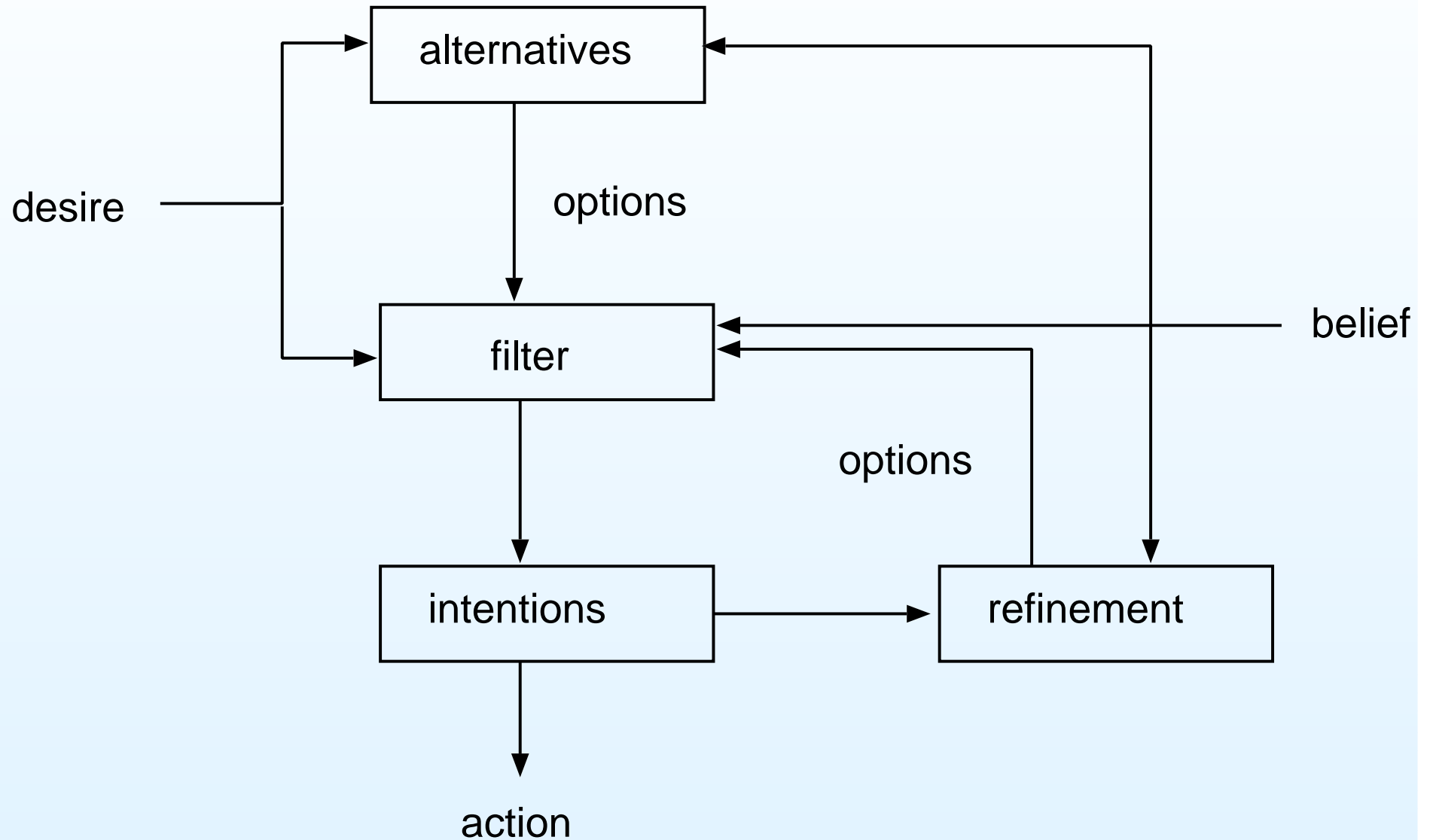
10++. BDI エージェントの実装: IRMA(1/3)

- IRMA(the Intelligent Resource-Bounded Machine Architecture [Bratman88]) は以下の4つの重要な記号的データ構造をもつ。
 - **プランライブラリ**
 - **信念**: エージェントが利用可能な情報
 - **願望**: エージェントが真とすることを欲するもの。エージェントに割り当てられたタスクとして考える。人間の場合、必ずしも論理的に無矛盾ではないが、エージェントの場合は無矛盾でなければならない。
 - **意図**: エージェントが選択し、コミットした願望

10++. BDI エージェントの実装: IRMA(2/3)

- さらに, 以下の5つのモジュールをもつ
 - **推論エンジン**: 世界に関する推論を行う
 - **手段-目的分析器**: 意図を達成するためにどのプランを使うかを決定する
 - **機会分析器**: 環境を監視し, 変化の結果により新たな選択肢を生成する
 - **フィルタプロセス**: 現在の意図に無矛盾な選択肢を決定する
 - **熟考プロセス**: 最良の意図の決定に責任を持つ部分

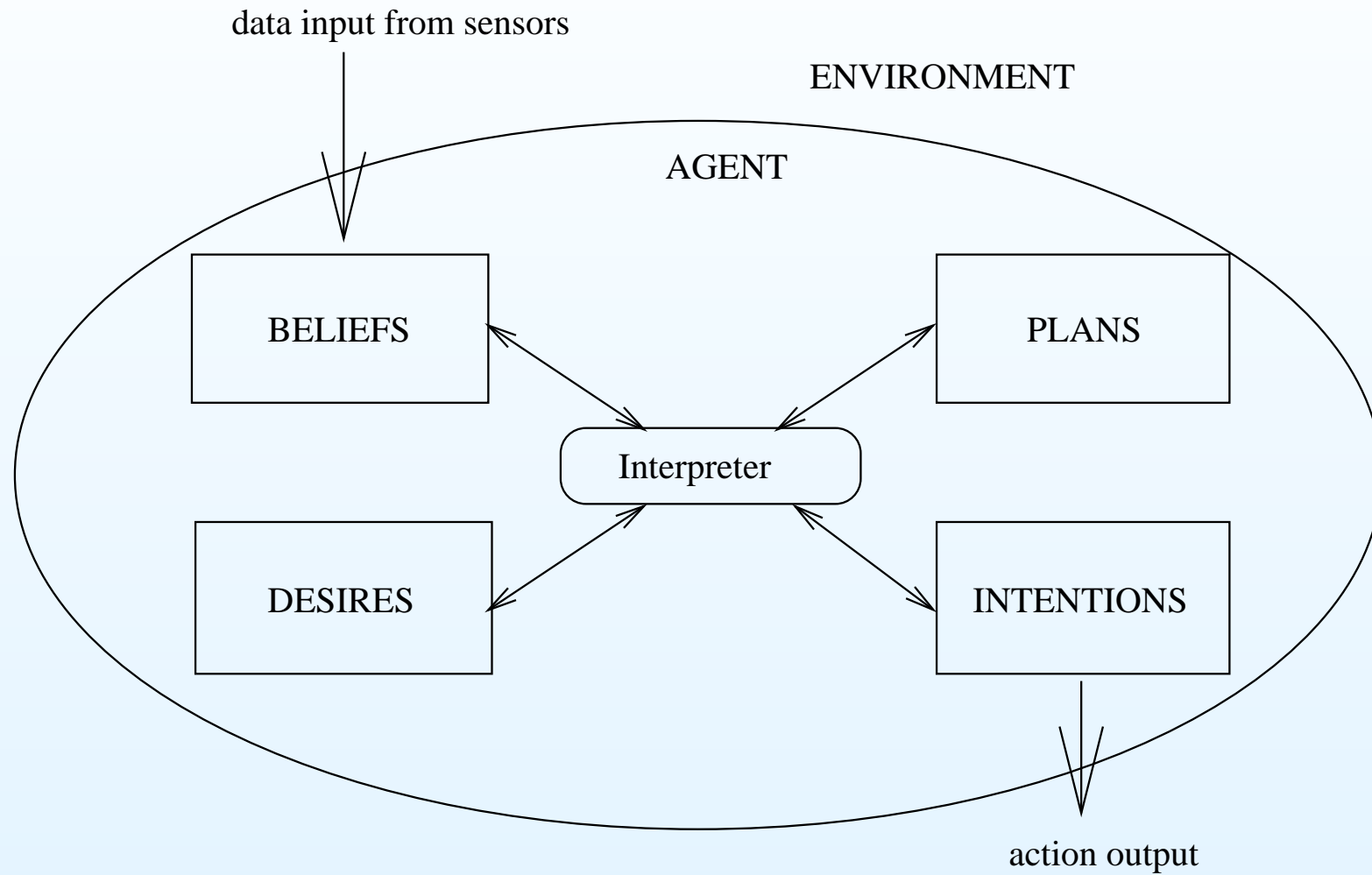
10++. BDI エージェントの実装: IRMA(3/3)



12. BDI エージェントの実装: PRS(1/2)

- PRS([Georgeff87]) という実際のエージェントアーキテクチャを用い, より具体的な考察を行う.
- PRS では, すべてのエージェントは, そのエージェントの**手続的知識**を表現する**プラン・ライブラリ**が装備されている.
(意図を実現するために使われる機構に関する知識)
- エージェントが使える選択肢はエージェントのプランにより直接決定される. つまり, プランを持たないエージェントは選択肢をもたない
- PRS は, 信念, 願望, 意図に関する明示的な表現をもつ

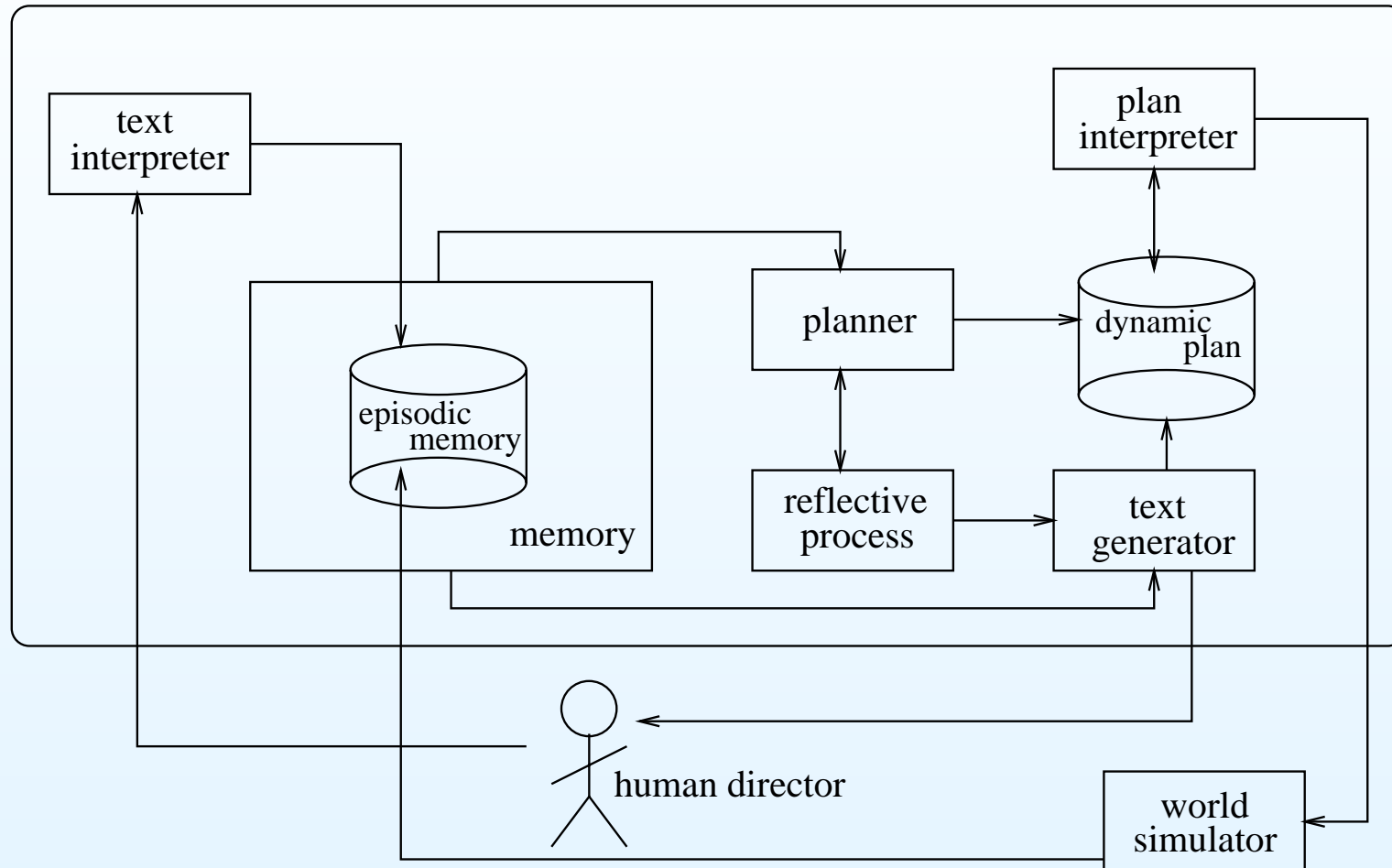
12. BDIエージェントの実装: PRS(2/2)



12. HOMER: プランニングエージェント (1/2)

- HOMER([Vere90]) は, 2次元の”Seaworld”における潜水艦ロボットシミュレータ
- HOMER は語彙 800 程度の英語の部分集合による指示をユーザから得る
- HOME は, その指示をどう達成するかプランニングする (主に, Seaworld で物を集めたり移動させたりすることに関係したもの). そして, そのプランを実行し, 要求に応じて実行時に修正する.
- HOMER は, 限定された**エピソード記憶**を持つ. それを使って過去の経験について答えることができる.

13. HOMER: プランニングエージェント (2/2)



参考文献 (1/2)

- Bratman88** Bratman, M. E., Israel, D. J. and Pollack, M. E. (1988) Plans and resource-bounded practical reasoning. *Computational Intelligence*, **4**, 349–355.
- Kinny91** Kinny, D. and Georgeff, M. (1991) Commitment and effectiveness of situated agents. In *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-91)*, Sydney, Australia, pp. 82–88.
- Rao91a** Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1991a) Asymmetry thesis and side-effect problems in linear time and branching time intention logics. In *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-91)*, Sydney, Australia, pp. 498–504.
- Rao91b** Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1991b) Modeling rational agents within a BDI-architecture. In *Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-91)* (eds R. Fikes and E. Sandewall), pp. 473–484. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Osawa93** 大沢英一, 沼岡千里, 石田亨. (1993) 「分散人工知能における標準的小問題」. コンピュータソフトウェア. *Vol. 10, No. 3*, pp. 3–19. 日本ソフトウェア科学会

参考文献 (2/2)

- Rao92** Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1992) An abstract architecture for rational agents. In *Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-92)* (eds C. Rich, W. Swartout and B. Nebel), pp. 439–449.
- Rao93** Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1993) A model-theoretic approach to the verification of situated reasoning systems. In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93), Chambéry, France*, pp. 318–324.
- Rao95** Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1995) Formal models and decision procedures for multi-agent systems. Technical note 61, Australian AI Institute, level 6, 171 La Trobe Street, Melbourne, Australia.
- Georgeff87** Georgeff, M. P. and Lansky, A. L. (1987) Reactive reasoning and planning. In *Proceedings of the 6th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-87), Seattle, WA*, pp. 677–682.
- Vere90** Vere, S. and Bickmore, T. (1990) A basic agent. *Computational Intelligence*, **6**, 41–60.