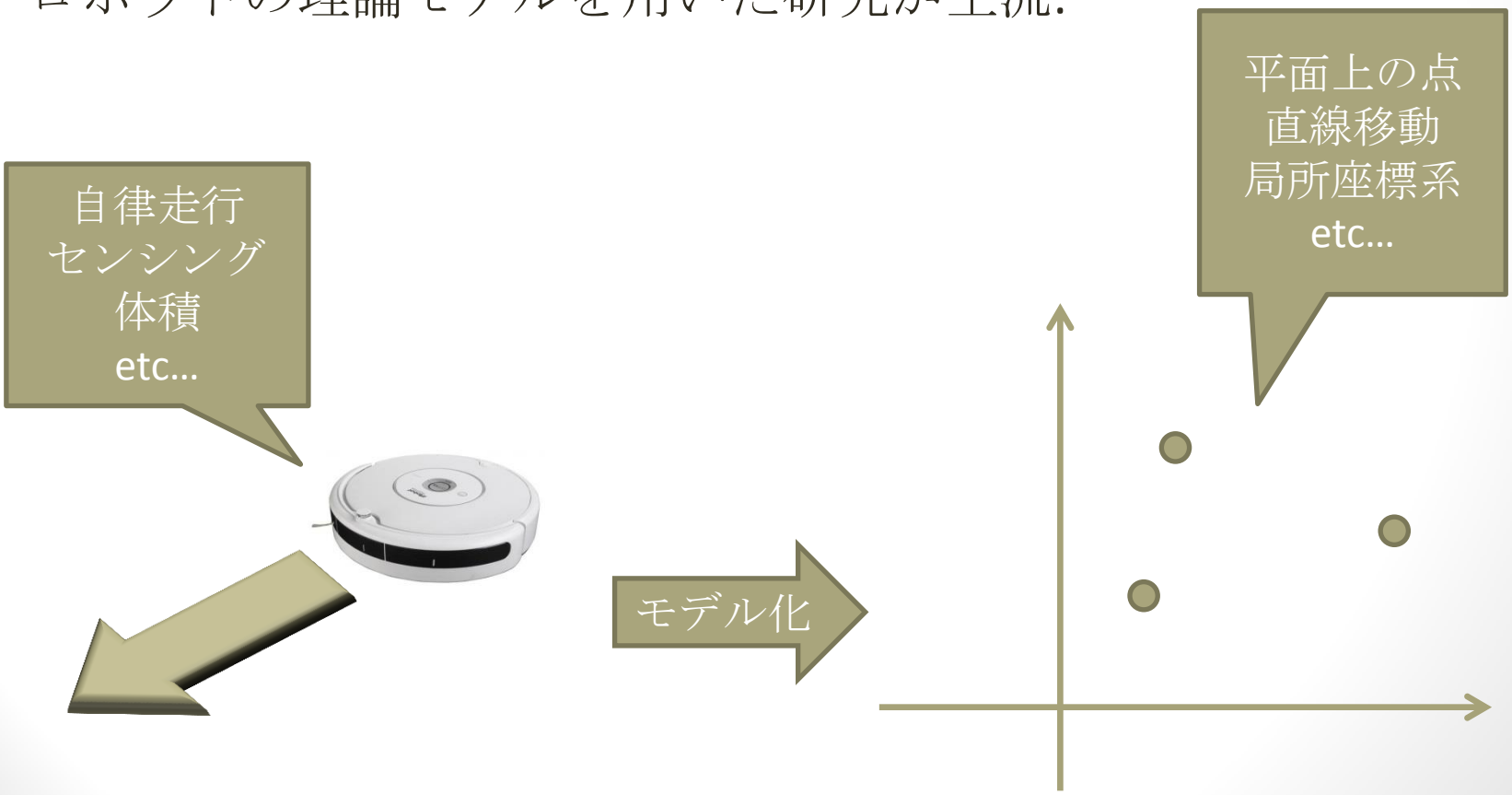
状態を持つ自律分散ロボット群の能力について

寺井 智史　法政大学大学院　◎
和田幸一　法政大学
片山善章　名古屋工業大学大学院
Shantanu Das　Aix-Marseille University

はじめに

- 自律分散ロボット群の研究

　自律的に動作し,全体としては協調的に行動するロボットの理論モデルを用いた研究が主流.



はじめに

- 研究背景

　最も単純なモデルでは非可解な問題を解くために状態$(light)$を持つロボットモデルが考案された,

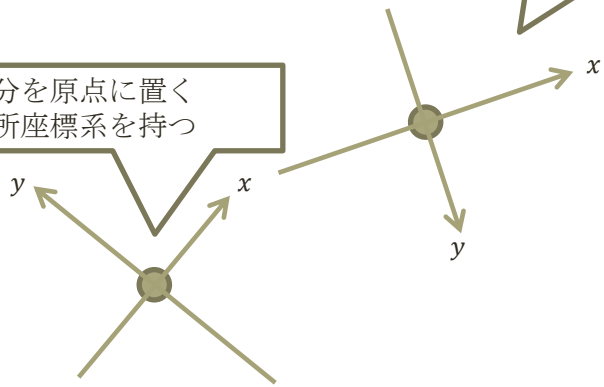
　本研究では,既存の状態付きロボットを拡張したモデルを提案し,役割の異なる二種類の状態の間にある性能差を明らかにするための方針を示す.

理論モデル

- 基本的なモデルの紹介
  - 能力

単位距離,座標軸の
向きや正負の方向に
合意が無い.

自分を原点に置く
局所座標系を持つ



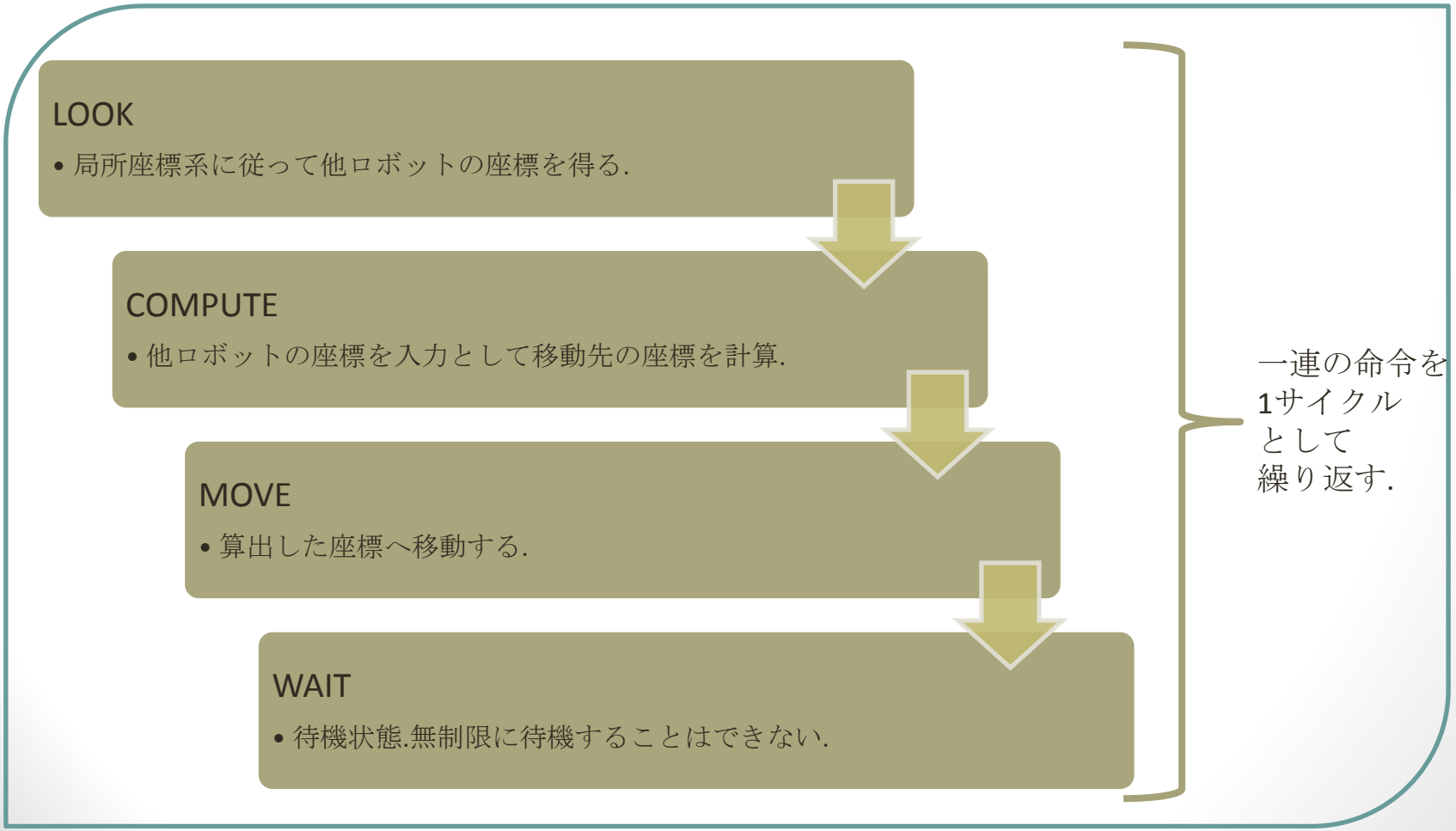
2次元平面上を直線的に動き,
面積や体積を持たない点として扱う

自分の局所座標系における
他ロボットの座標を得られる.

その他
- 全ロボットが等しい能力を持つこと
- ロボットを区別できないこと(匿名)

理論モデル

- 基本的なモデルの紹介
  - 動作



理論モデル

- 基本的なモデルの紹介
  - 動作に関する仮定

- 匿名

  ロボット同士を区別することができない.

- 無記憶

  常に最後に行ったLOOK命令によって得た情報のみに基づいてCOMPUTE命令を行う.

スケジュール

個々のロボットが持っている能力や動作を理論モデルによって定めた.

次にそのロボット達を「どう動かすか」を定める.

それには

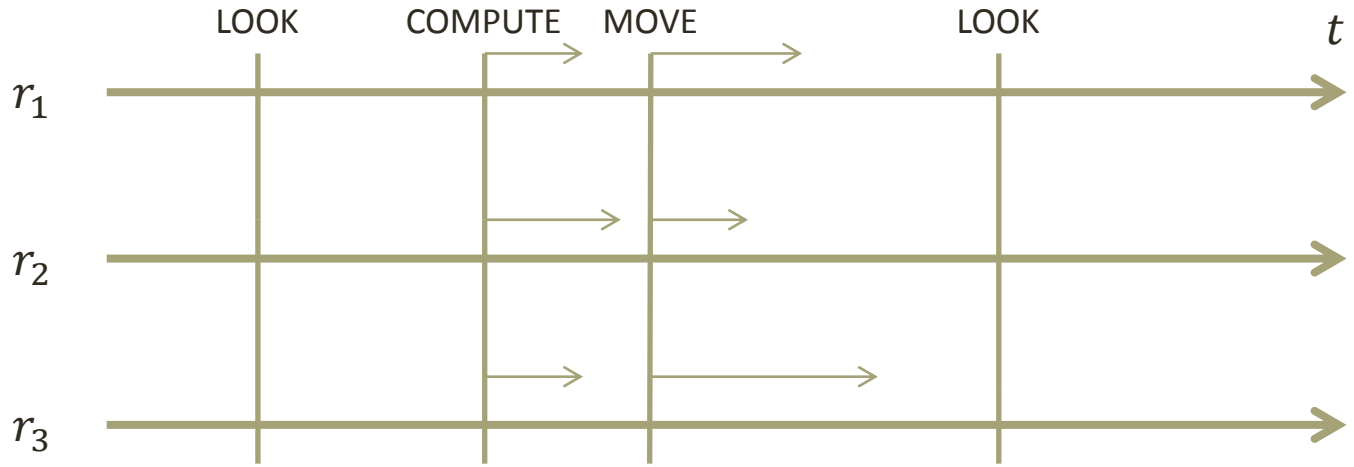
- $FSYNC(Fully\ syncronous)$
- $SSYNC(Semi\ syncronous)$
- $ASYNC(Asyncronous)$

の3種類のスケジュールがよく使われる.

スケジュール

- FSYNC

各ロボットの動作を時系列に沿って並べると…

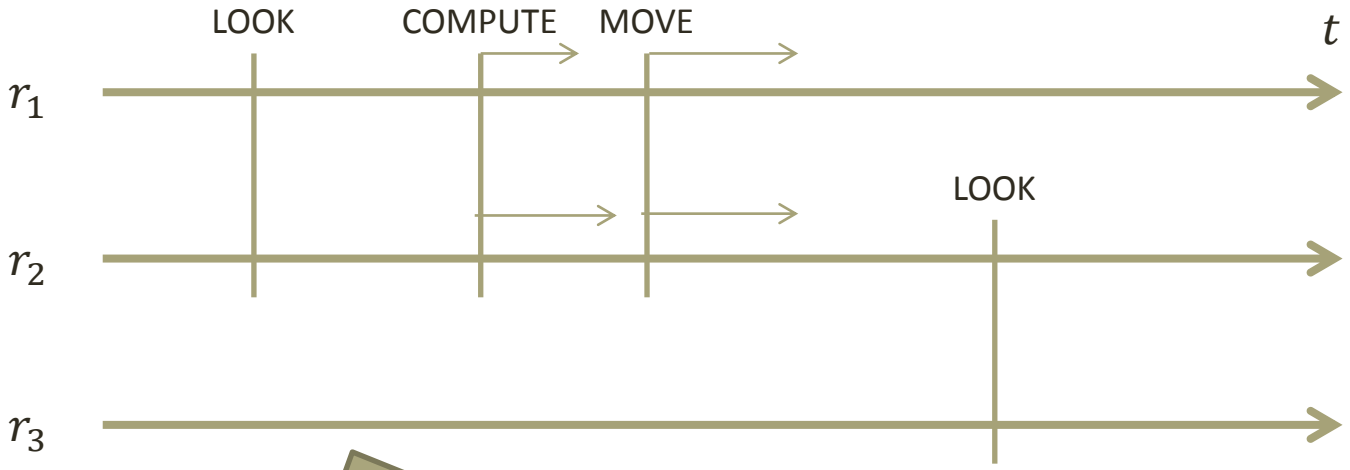


全サイクルで
全ロボットが同期して
動作する.

スケジュール

- SSYNC

各ロボットの動作を時系列に沿って並べると…

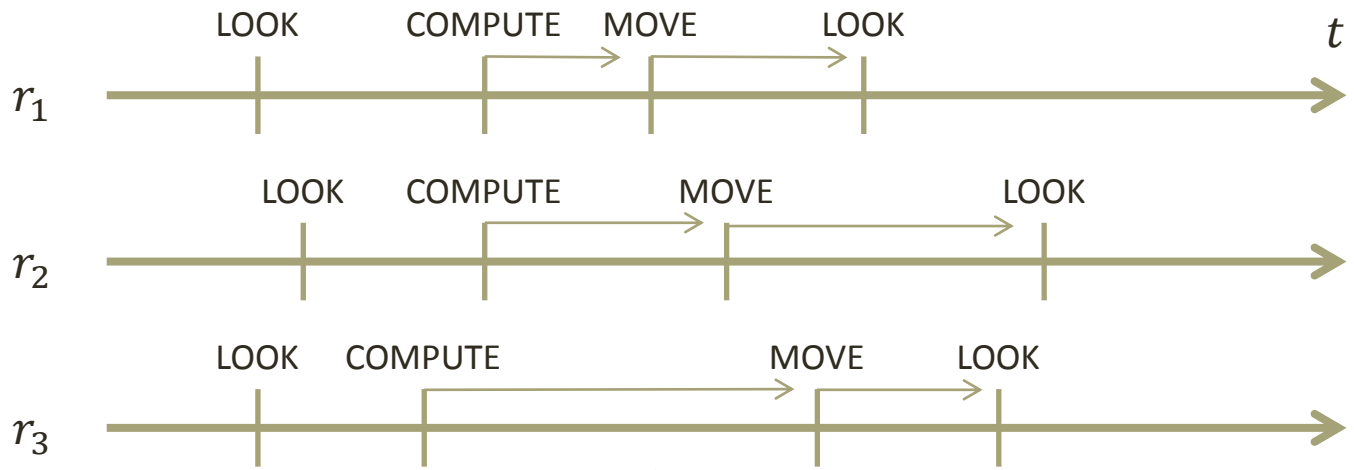


各サイクルでロボットの動作は同期しているが,サイクルを実行しないロボットが存在している.

スケジュール

- ASYNC

各ロボットの動作を時系列に沿って並べると…

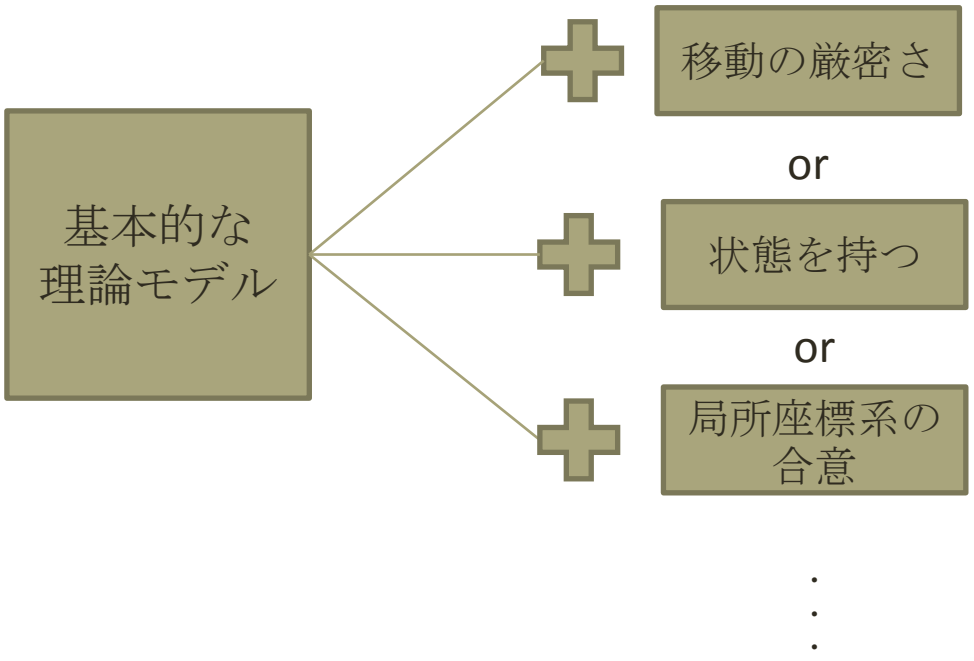


まったく同期していない

モデルとスケジュール

上記のようなモデルとスケジュールを選んで問題を解く.

理論モデルには適宜追加の仮定を加えることがあり,今回用いる状態($light$)もその一つである.

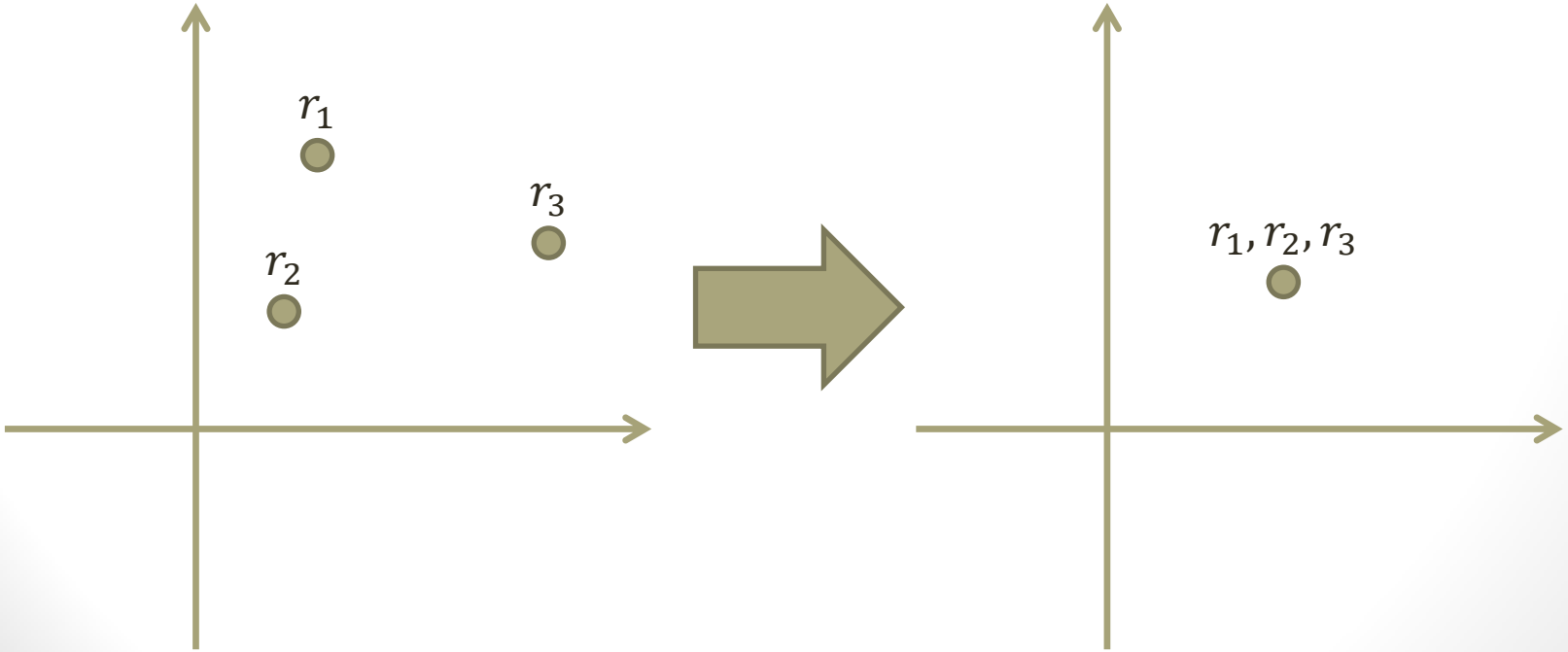


集合問題とランデブー問題

- 集合問題

$n(\in \mathbb{N})$台のロボットが,任意の初期配置から予め決められていない1点に集まることができるか,という問題.

$n = 2$のときを特別にランデブー問題と呼ぶ.



状態を持つモデル

これらの問題は基本的な理論モデルでは一般的には解くことができないことが知られている.

表1.基本的なモデルでの結果

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
集合	非可解	非可解	可解
ランデブー	非可解	非可解	可解

状態を持つモデル

- 状態($light$)

ロボットの内部状態を記録できる定数ビットの記憶領域.

LOOK命令によって他ロボットの座標とともに状態を認識することが出来る.

状態の可視性によって以下のようなモデルに分ける.

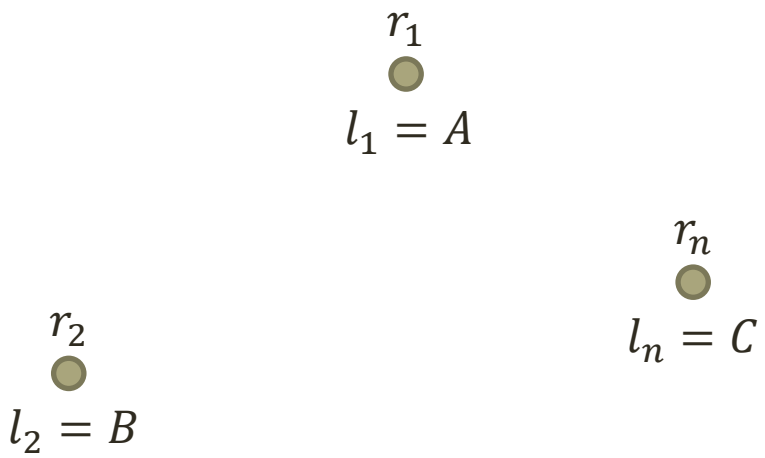
表2.モデルと参照できる状態

	自分の状態	相手の状態
$full-light$	○	○
$internal-light$	○	×
$external-light$	×	○

状態を持つモデル

- システムの外から見た各ロボットの状態$l_k(k = 1, \ldots, n)$

$l_k \in \{A, B, C\}$とする

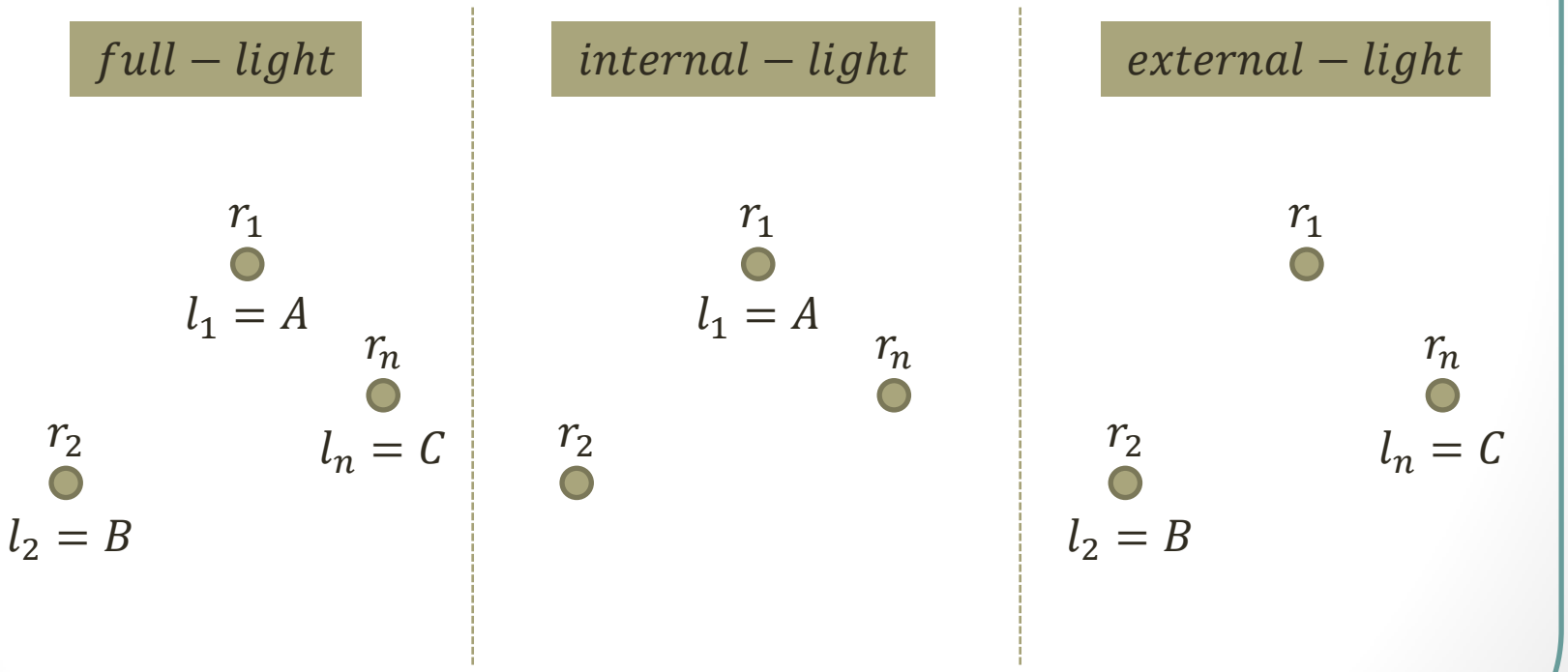


上のような状況を考え,r_1が
LOOK命令を行った場合を考える.

状態を持つモデル

- 状態$l_k(k = 1, \ldots, n)$の見え方

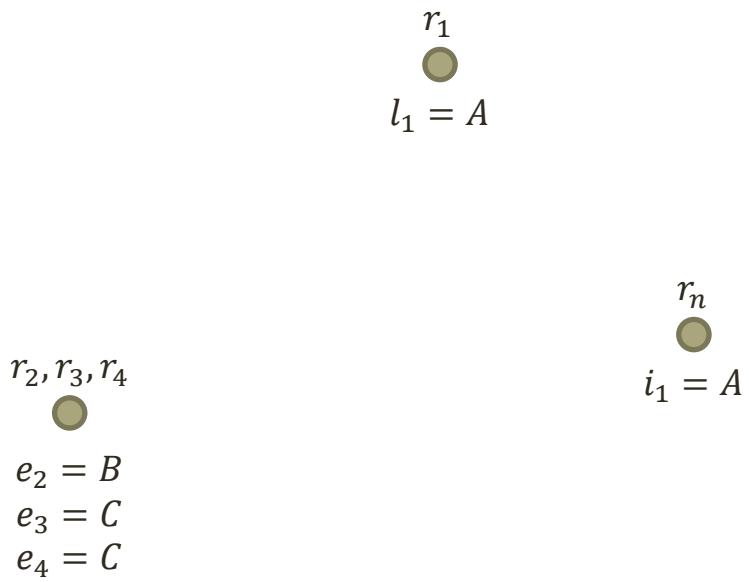
$l_k \in \{A, B, C\}$とする



状態を持つモデル

- 3台以上のときの外部状態の見え方

$l_k \in \{A, B, C\}$とする

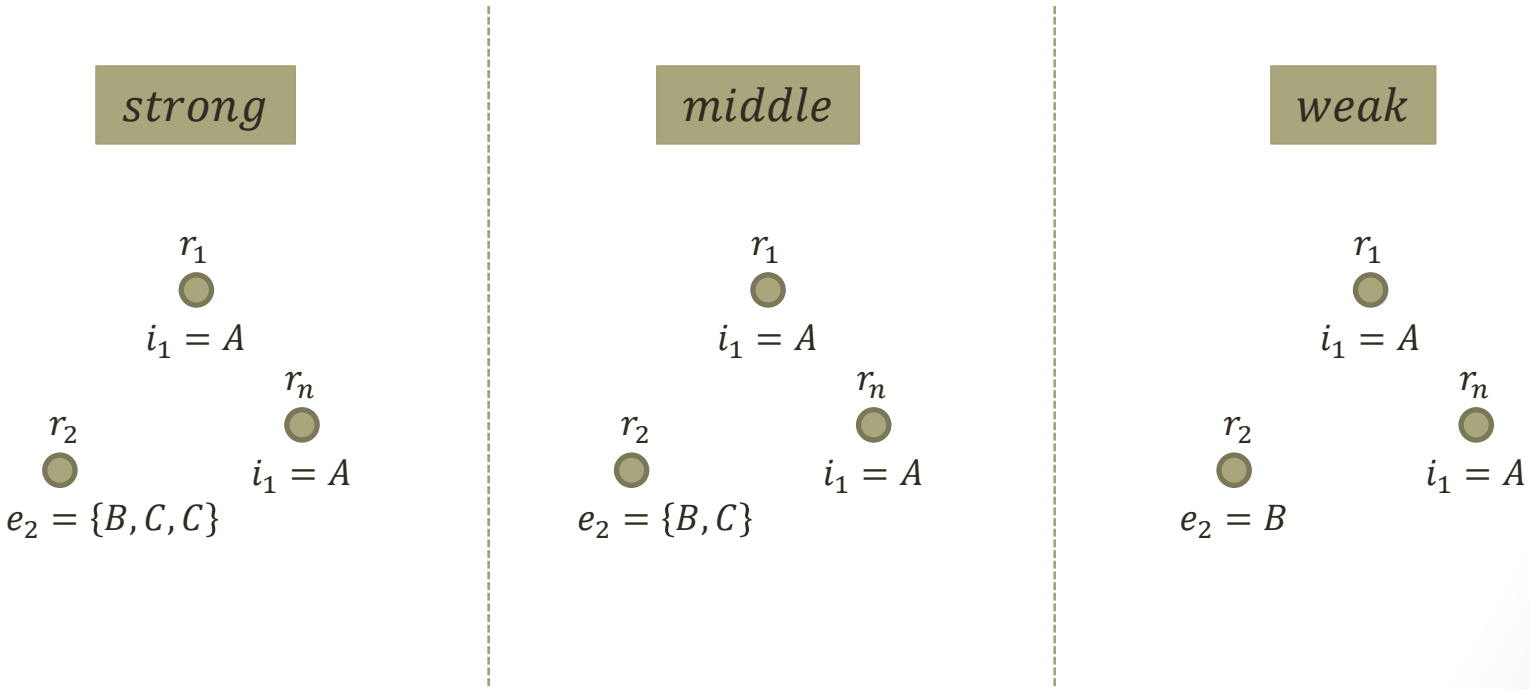


上のような状況を考え,r_1が
LOOK命令を行った場合を考える.

状態を持つモデル

- 3台以上のときの外部状態の見え方

$l_k \in \{A, B, C\}$とする



状態を持つモデル

- 既存の結果

表3.移動が厳密な場合のランデブー問題

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
$full-light$			1
$internal-light$		6	1
$external-light$	12		1

表4.移動が厳密でない場合のランデブー問題

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
$full-light$	4	2	1
$internal-light$		3	1
$external-light$	3	3	1

※赤字はδの知識あり

状態を持つモデル

- 既存の結果

表5.ASYNCによるシミュレーション

	SSYNC	$full, n$状態 SSYNC	FSYNC
$full - light$ ASYNC	6	$6n$	3

※過去のスナップショットを1回分保存できる記憶領域を持つモデル

モデルの拡張

- 状態の可視性に関する拡張

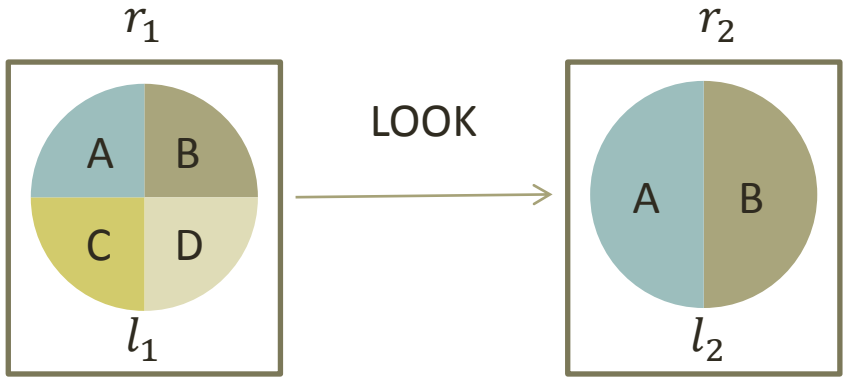
- $(s_i, s_e) - slight$

  状態を表すパラメータを1つ持つ.

  取り得る状態の集合$\mathbb{S}$の中で,内部状態として区別できる状態と外部状態として区別できる状態の数をそれぞれs_i, s_eとする.

  状態数は$|\mathbb{S}|$.

$(4,2) - slight$
$\mathbb{S} = \{A, B, C, D\}$
の例



モデルの拡張

先に紹介した3つのモデルは$(s_i, s_e) - slight$の特殊な場合である.

- $full - light$
  - $s_i = s_e$の場合.
- $internal - light$
  - $s_e = 1$の場合.
- $external - light$
  - $s_i = 1$の場合.

モデルの拡張

- 状態の役割に関する拡張

- $(i, e) - dlight$

  状態を表すパラメータを2つ持つ.

  2つの状態集合

  - 自分しか見られない内部状態の集合$\mathbb{I}$
  - 他ロボットからしか見えない外部状態の集合$\mathbb{E}$

  を持ち,これらを表す2つのパラメータを個別に変更できる.

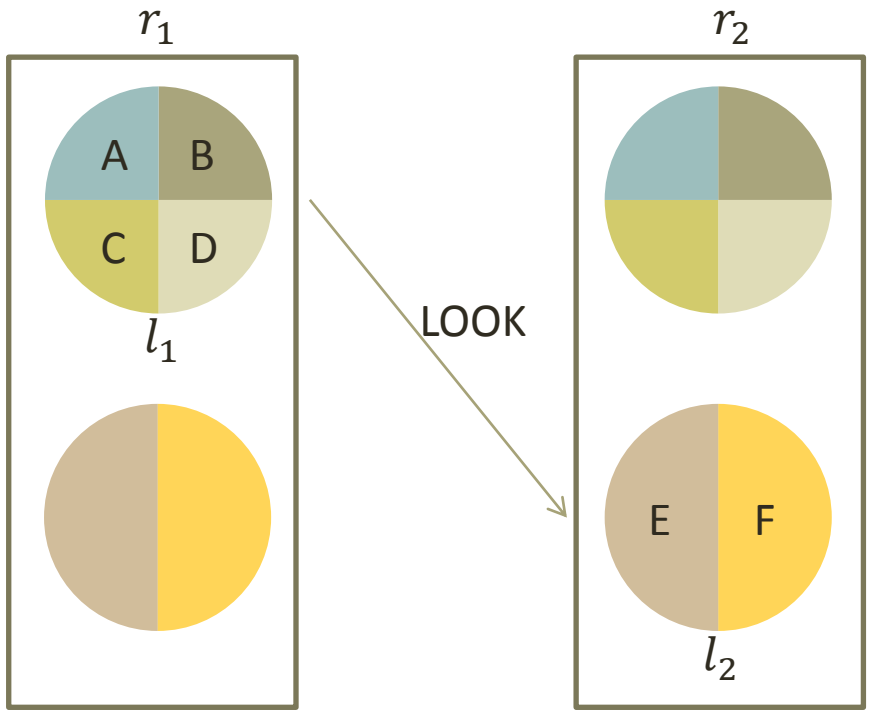
  $i = |I|, e = |E|$とする.

  状態数は$i * e$とする.

モデルの拡張

- $(i, e) - dlight$

$(4,2) - slight$
$I = \{A, B, C, D\}$
$E = \{E, F\}$
の例



既存研究との関連

- ランデブー問題

　従来の状態付きロボットモデルを用いた結果を新たに定義したモデルによって書き直すと，

表6.移動が厳密($rigid$)である場合のランデブー問題

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
$\boldsymbol{full-light}$			$(1,1)-slight$
$\boldsymbol{internal-light}$		$(6,1)-slight$	$(1,1)-slight$
$\boldsymbol{external-light}$	$(1,12)-slight$		$(1,1)-slight$

既存研究との関連

- ランデブー問題

　従来の状態付きロボットモデルを用いた結果を$(I, E) - light$モデルによって書き直すと

表7.移動が厳密でない場合のランデブー問題

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
$full - light$	$(4,4) - slight$	$(2,2) - slight$	$(1,1) - slight$
$internal - light$		$(3,1) - slight$	$(1,1) - slight$
$external - light$	$(1,3) - slight$	$(1,3) - slight$	$(1,1) - slight$
※赤字はδの知識有			

既存研究との関連

- シミュレーション

  ASYNCスケジューラを用いて他のスケジューラを

表8.ASYNCによるシミュレーション

	SSYNC	$full, n$状態 SSYNC	FSYNC
$full - light$ ASYNC	$(6,6) - slight$	$(6n, 6n) - slight$	$(3,3) - slight$

※過去のスナップショットを1回分保存できる記憶領域を持つモデル

現在の状況

初期配置からアルゴリズムGatherNRobotsとElectOneLDS[1]を実行し,そこから状態を用いて集合を達成するという方法で一般の集合問題を解くアルゴリズムを考案した.

表9.移動が厳密でない場合の集合問題

	ASYNC	SSYNC	FSYNC
$(s_i, s_e) - light$		$(3,3) - slight$	
$(1, s_e) - light$		$(4,4) - slight$	

[1]Taisuke Izumi, Yoshiaki Katayama, Nobuhiro Inuzuka, and Koichi Wada, Gathering Autonomous Mobile Robots with Dynamic Compasses: An Optimal Result, 21st International Symposium on Distributed Computing (DISC 2007), Lecture note in Computer Science 4731, pp 298-312

現在の状況

- 今後の方針

　内部状態と外部状態の性能差を明らかにしたい.そのために,

1. どちらかの状態数を減らしたときに能力差が現れるような問題があるか
   - 例えば$(3,3)-slight$では解けるが$(3,2)-slight$では解けない,など.
2. モデル同士のシミュレーションが可能か
   - 例えば$(i,e)-dlight$で$(s_i,s_e)-slight$のアルゴリズムをシミュレートできるか,など.

という方向性を検討する.