正六角形グリッド上でのファットロボットの集合問題について

法政大学大学院　白川遥平
法政大学　和田幸一
名古屋工業大学　片山喜章

研究背景

- 自律分散ロボット群

自律的に動作する複数のロボット各々が協調的に動作することにより全体でひとつの問題を達成させる

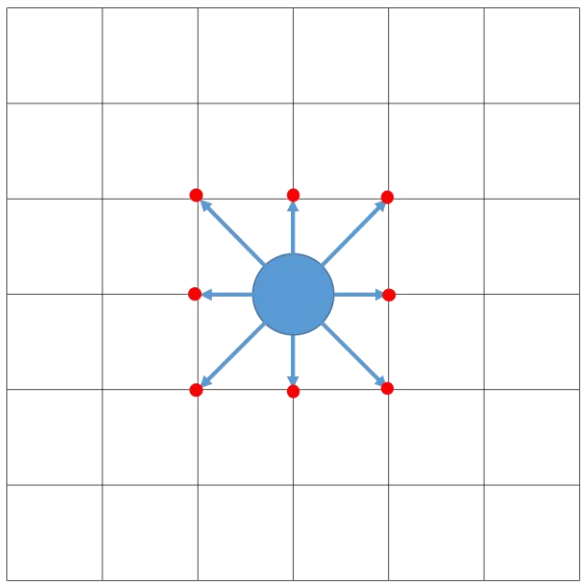
⇒集合問題

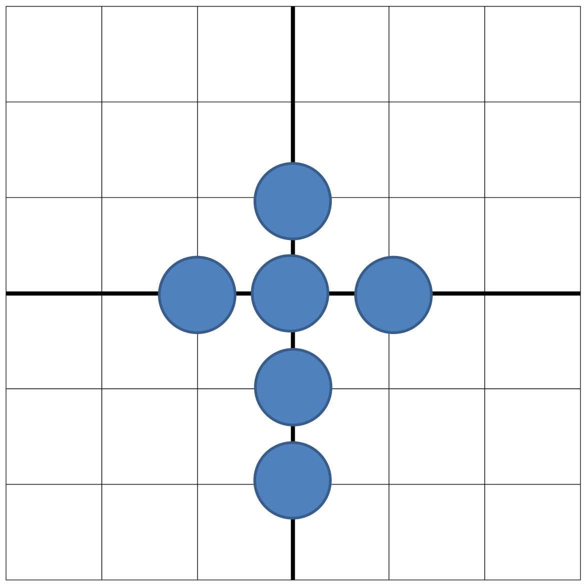
先行研究

格子平面上における集合問題

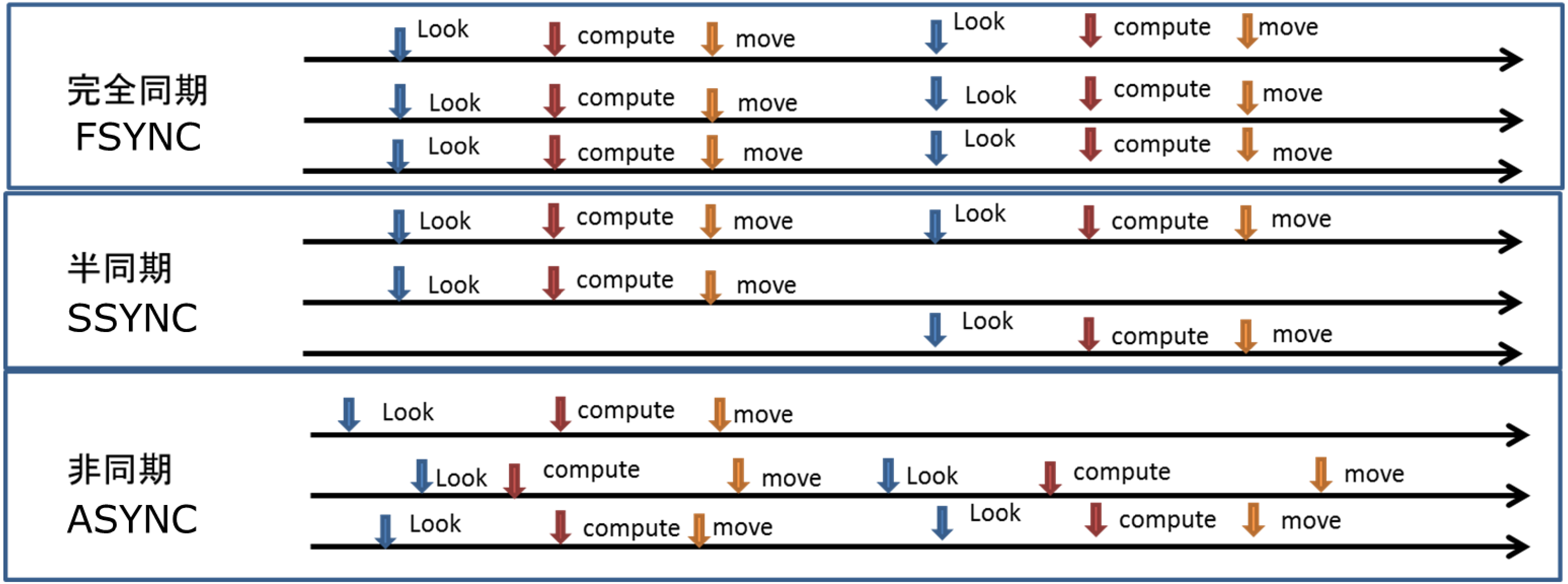
ロボットを平面上の点ではなく円盤で表すファットロボット

移動可能な位置と視野範囲

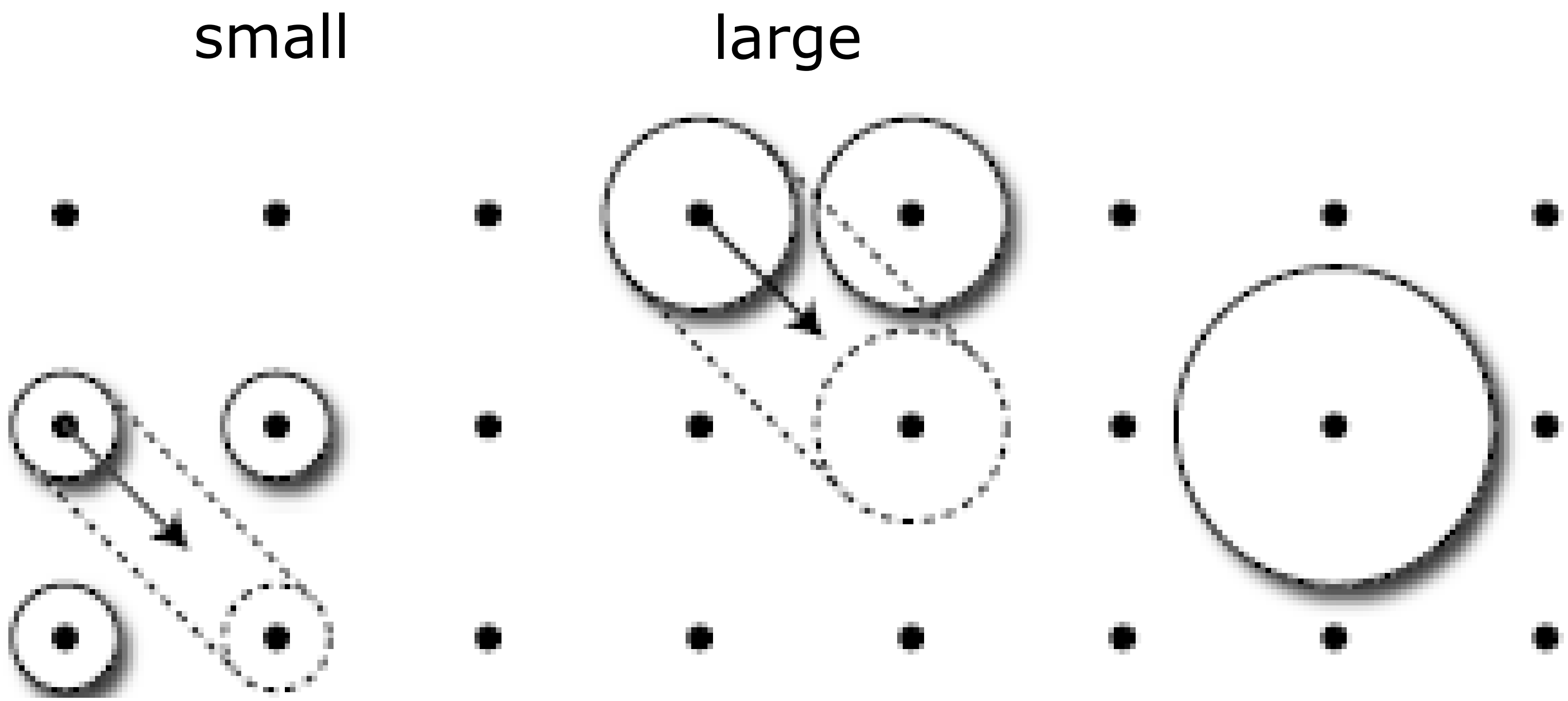




同期



ロボットの大きさ



ロボットのモデル

- 集合するロボットの台数を知るかどうか

集合を達成した時の一番遠いロボットまでの距離Lmaxがわかる

- パラメータ

sync∈{async,ssync,fsync}
num∈{known,unknown}
size∈{small,large}

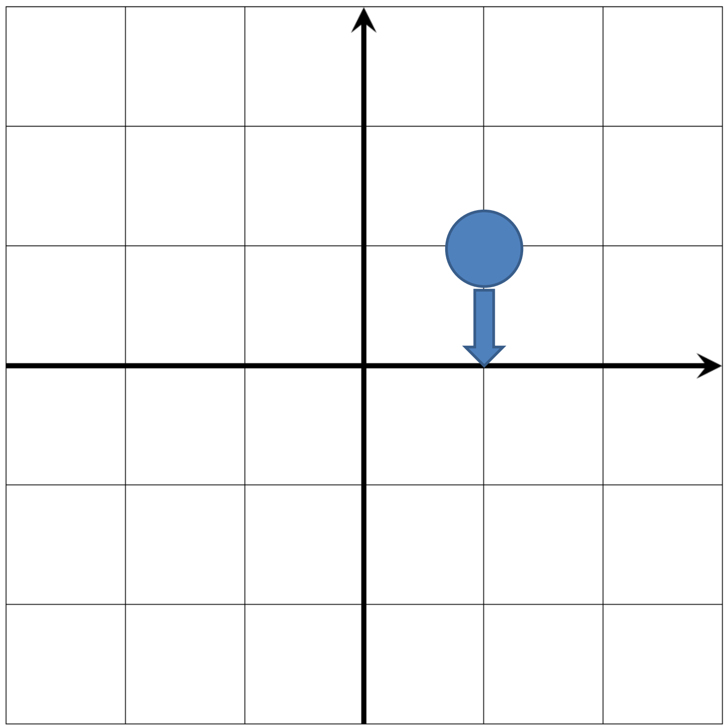
- 集合問題を解くアルゴリズムのクラスをGA(sync,num,size)で定義する

座標系に対する知識

- 共通の座標系を持つ

・共通の単位長さ
・共通の原点
・共通の座標軸の方向
・共通の正負の向き

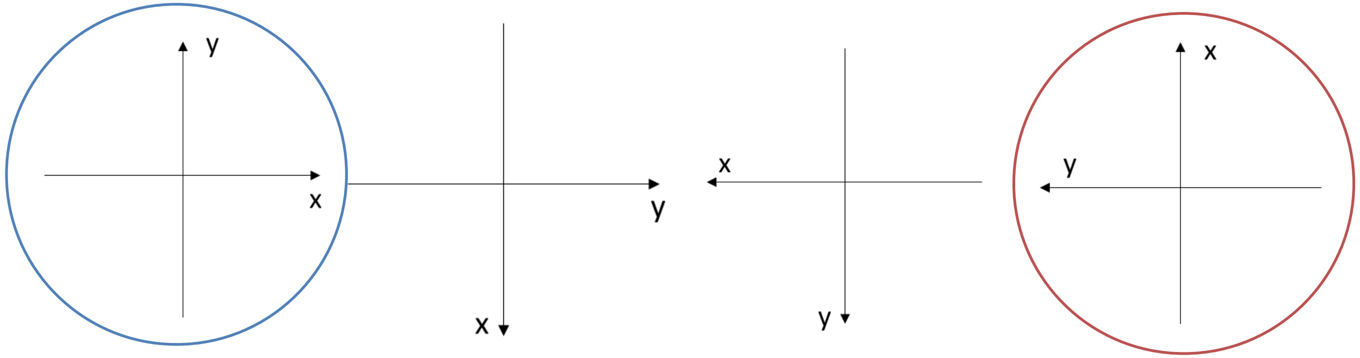
(1,1)から(1,0)への移動



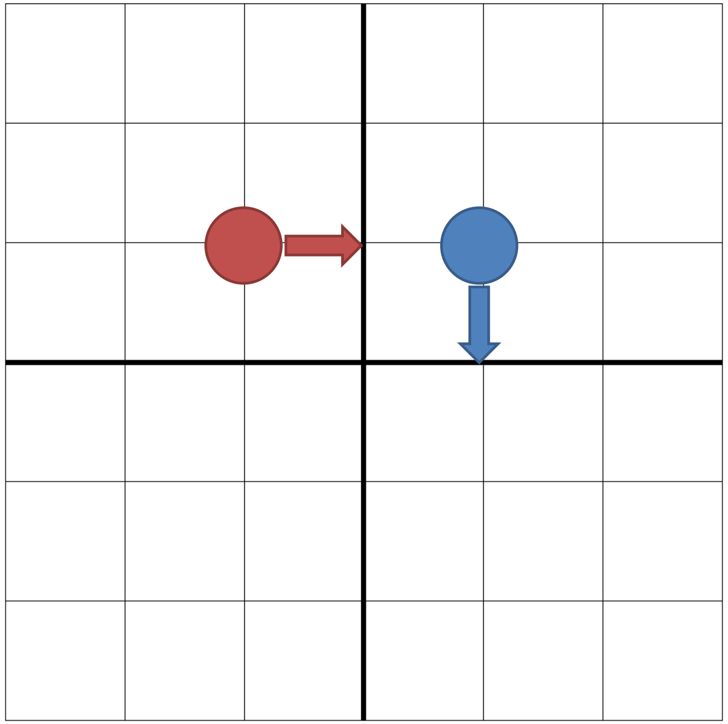
座標系に対する知識

- 共通の座標系を持たない

・共通の単位長さ
・共通の原点
・共通の座標軸の方向
・右回りに対する合意



(1,1)から(1,0)への移動



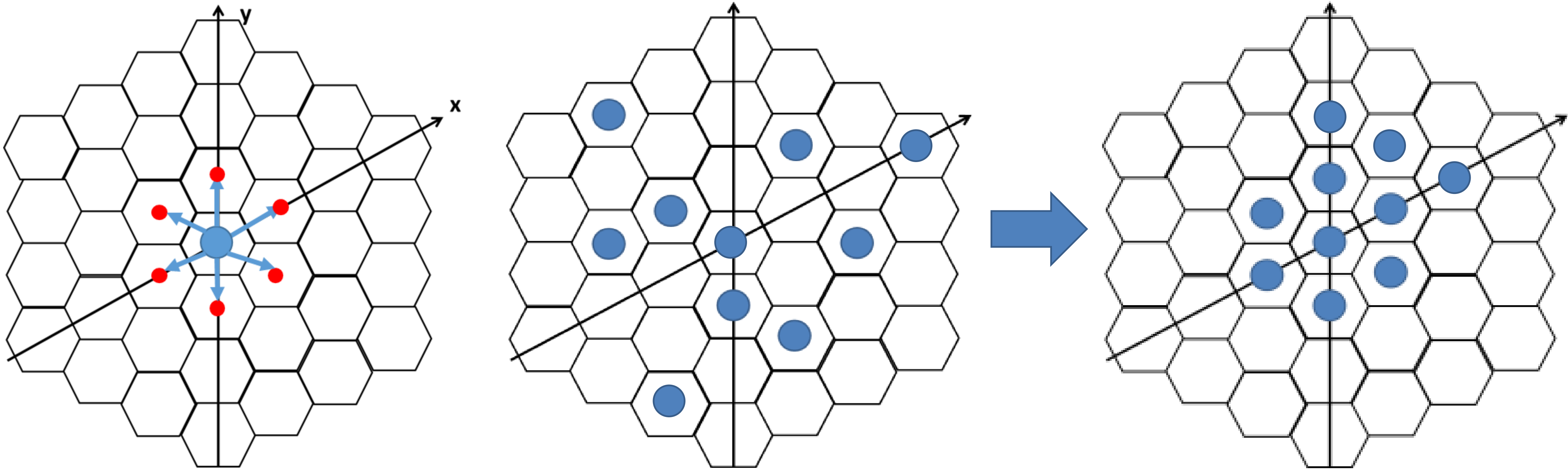
二次元直交座標系に対する結果

二次元直交座標 共通座標系有り		small	large
async	unknown	**Spiral**	非可解
	known	Spiral	**SpiralSpread**
ssync	unknown	Spiral	**PullSlide**
	unknown	Spiral	SpiralSpread PullSlide

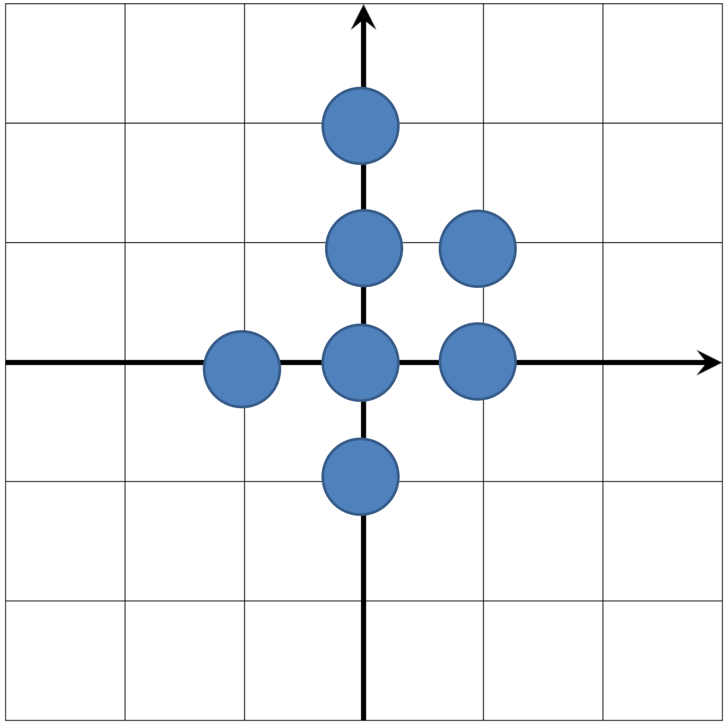
二次元直交座標 共通座標系なし		small	large
async	unknown	未解決	非可解
	known	未解決	未解決
async	unknown	未解決	未解決
	known	**GridPullSpin2**	**GridPullSpin3**

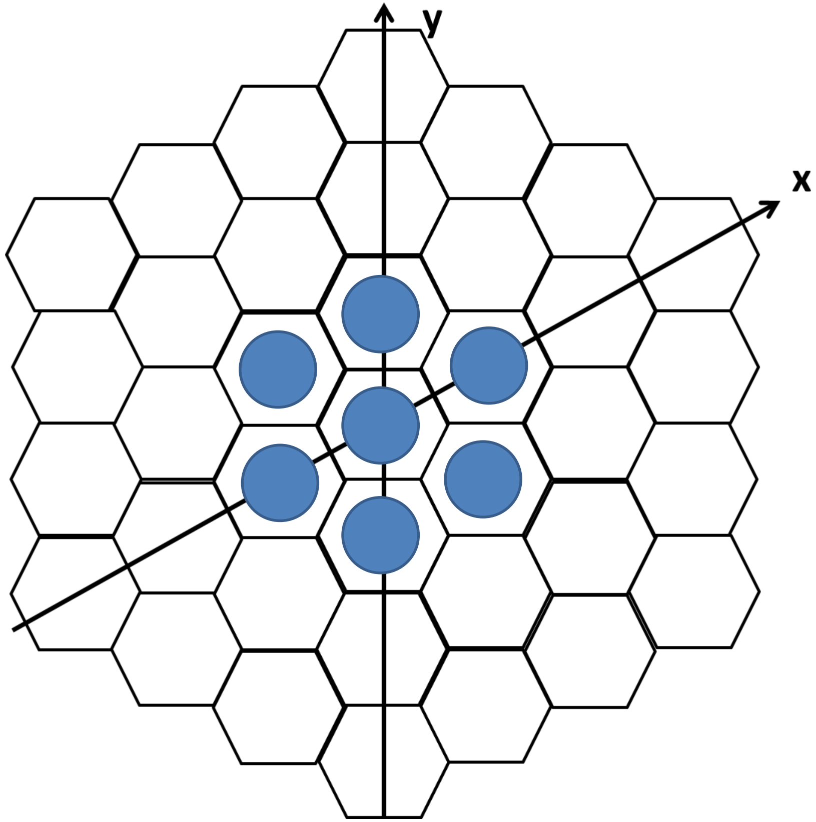
正六角形グリッド上の集合問題

移動可能な位置と視野範囲



ロボット7台での集合



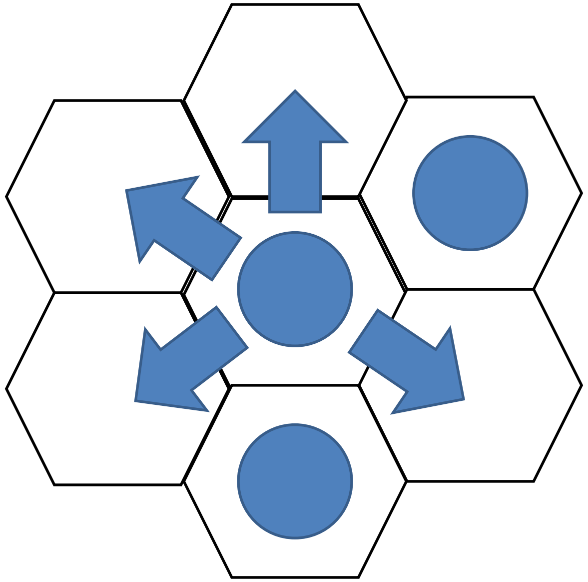


六角形グリッド上では二次元直交座標系に比べより密に集合できる

ロボットのモデル

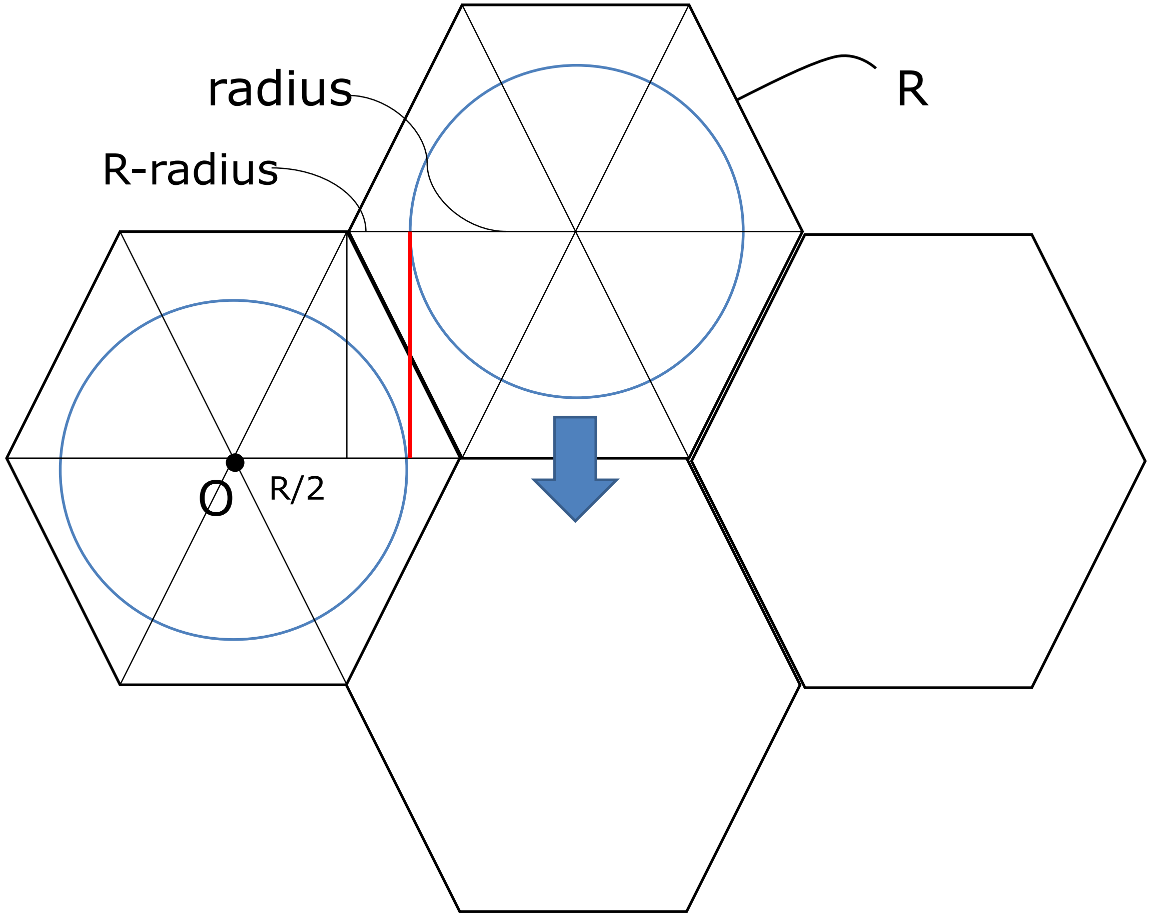
ロボットの半径radiusによって2つのモデルを定義する

1.自由に動ける場合(モデルsmall)



モデルsmallでは,ロボットの大きさが十分に小さくロボットはロボットが存在しない点に自由に移動できる

自由に動ける場合の条件



・正六角形の一辺の大きさをR

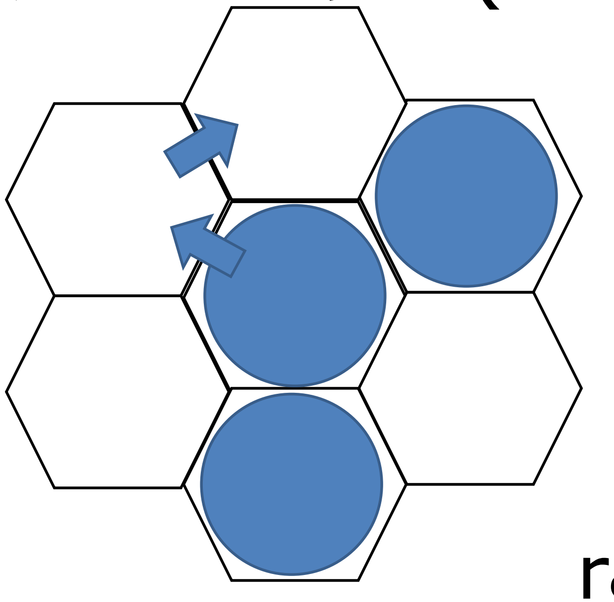
・ロボットの半径の大きさをradius

radius < R/2+R-radius

Small:radius < 3R/4

ロボットのサイズ

2.自由に動けない場合(モデルlarge)



モデルlargeでは,あるロボットは他のロボットが存在する周囲の点へは他のロボットに接触するため移動することができない。

radius < √3R/2

laege: 3R/4 ≦ radius < √3R/2

正六角形グリッドにおける座標系に対する知識

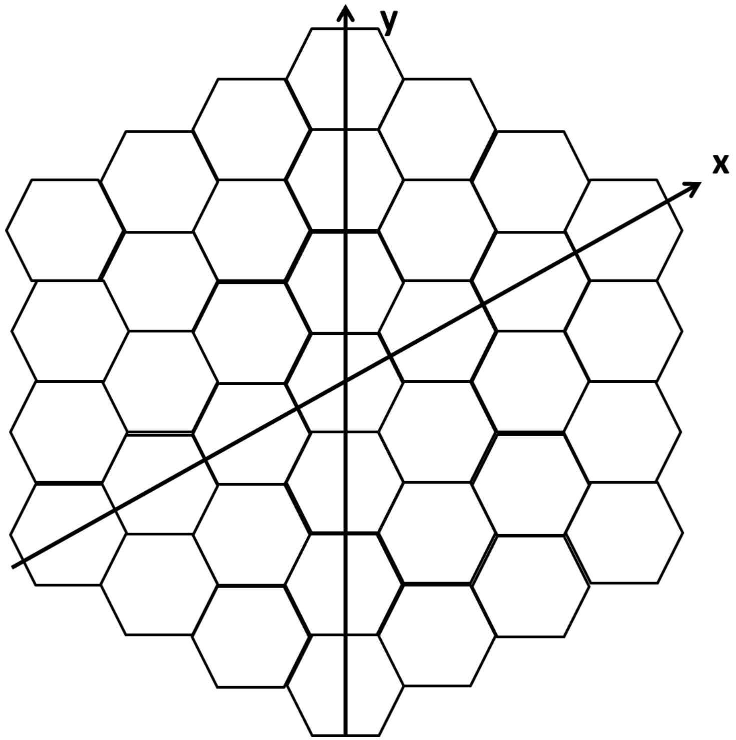
- 共通の座標系を持つ

・共通の単位長さ

・共通の原点

・共通の座標軸の方向

・共通の正負の向き



正六角形グリッドにおける座標系に対する知識

- 共通の座標系を持たない

・共通の単位長さ

・共通の原点

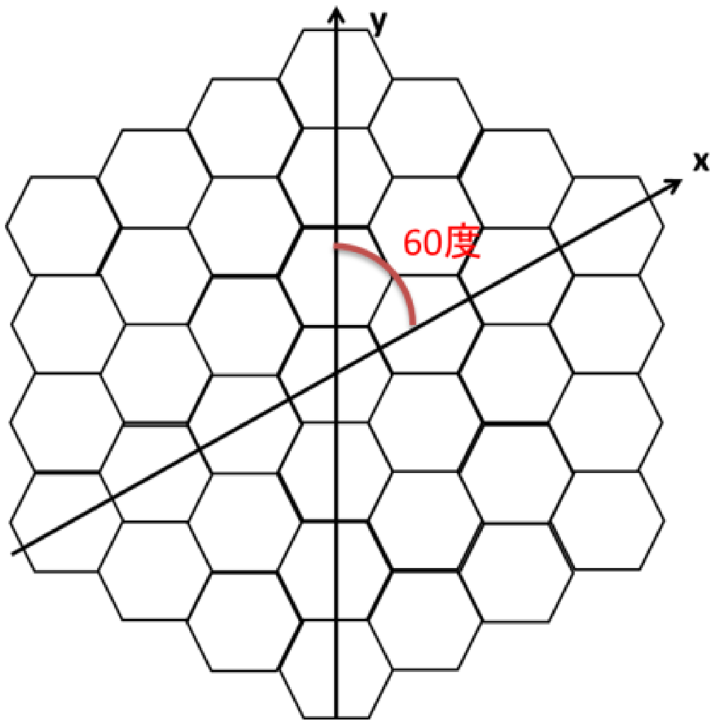
・時計回りの回転を正として

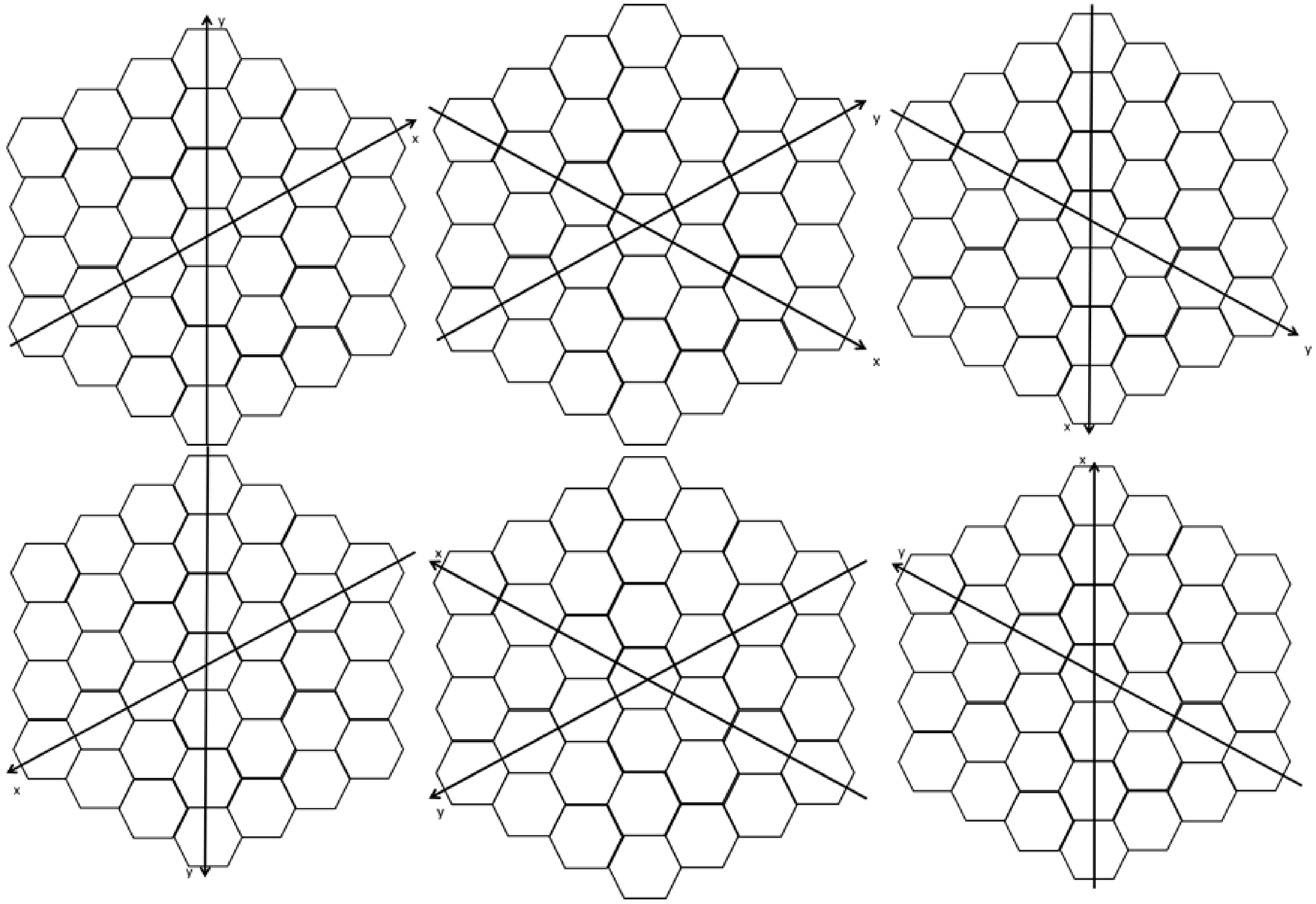
y→x

+60度

そのときの

x軸,y軸それぞれの方向を固定





六角形グリッドにおける共通の座標系なしの場合の総パターン

正六角形グリッドに対する結果

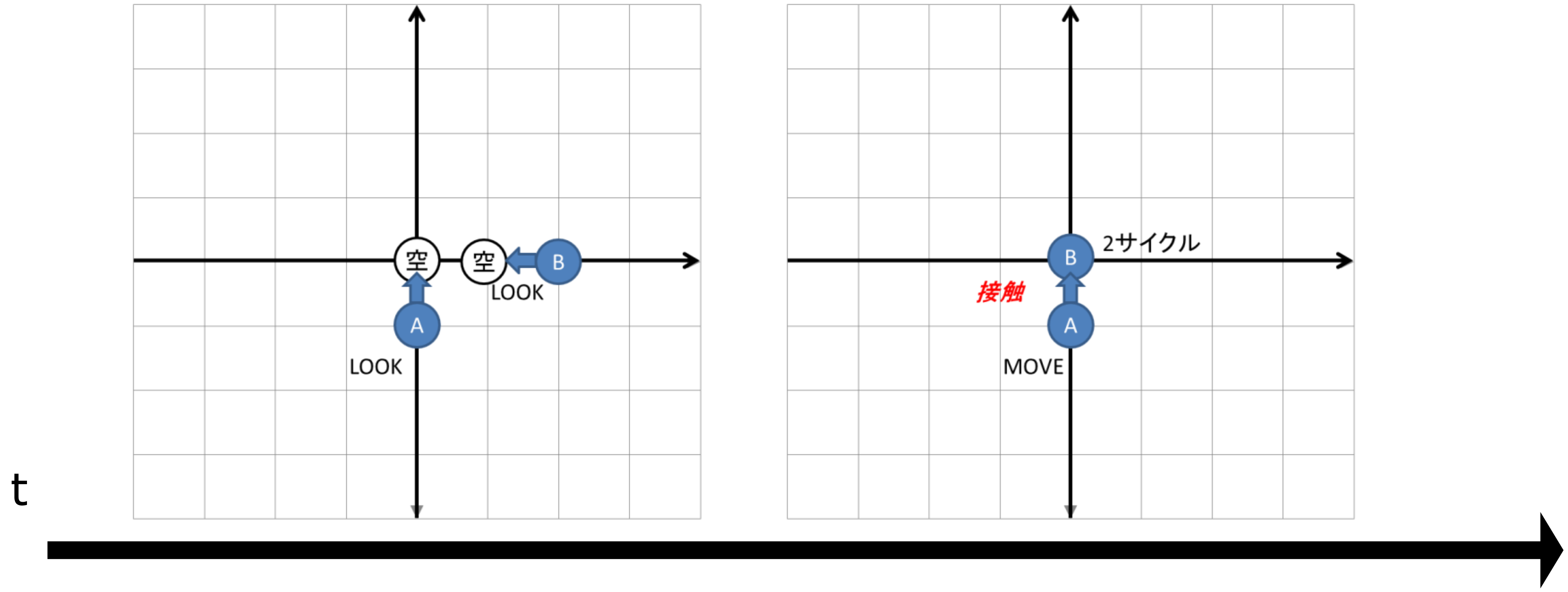
正六角形グリッド 共通の座標系有り		small	large
async	unknown	hexagonSpiral	非可解
	known	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解
ssync	unknown	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解
	known	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解

正六角形グリッド 共通の座標系なし		small	large
async	unknown	未解決	非可解
	known	未解決	視野範囲1では非可解
ssync	unknwon	未解決	視野範囲1では非可解
	known	hexagonPullSpin	視野範囲1では非可解

非同期での問題点

Spiral∈GA(async,unknown,small)

非同期で2つ以上の点から同一の点への移動があると･･･

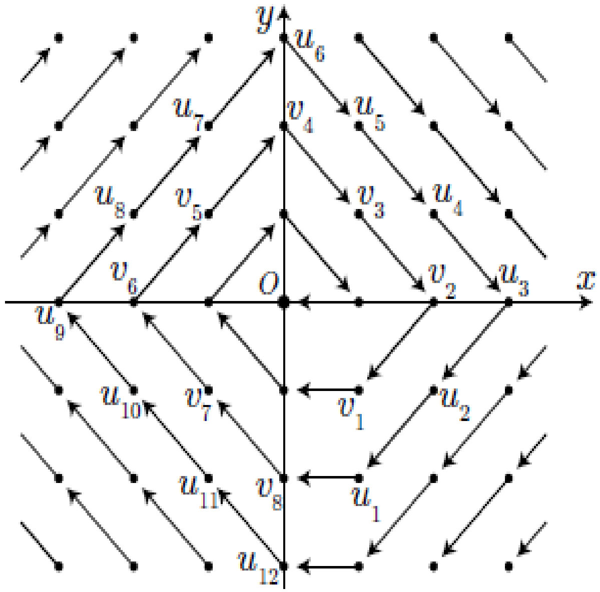


二次元直交座標での解決策

Spiral∈GA(async,unknown,small)

解決策

先行研究では2次元直交座標系上でロボットの通りを一本道にし、移動先にロボットがいないときのみ移動させることで問題を解決した



アルゴリズム 1 点 $v=(v_x,v_y)$ 上のロボット r 上のアルゴリズム *Spiral*

Predicate:
$Spin(r) \equiv (v \neq 1 \vee y > 0) \wedge (e_v \notin C)$
$Upper(r) \equiv (v = 1) \wedge (y \leq 0) \wedge ((v_x - 1, v_y) \notin C)$
$Stay(r) \equiv (v = O) \vee (\neg Spin(r) \wedge \neg Upper(r))$
Actions:
Spin :: $Spin(r) \rightarrow$ 行き先を e_v に
Upper :: $Upper(r) \rightarrow$ 行き先を $(v_x - 1, v_y)$ に
Stay :: $Stay(r) \rightarrow$ 移動しない

アルゴリズム Spiral

正六角形グリッド 共通の座標系有り		**small**	**large**
async	unknown	**Spiral**	
	known	Spiral	
ssync	unknown	Spiral	
	known	Spiral	

汎用アルゴリズム

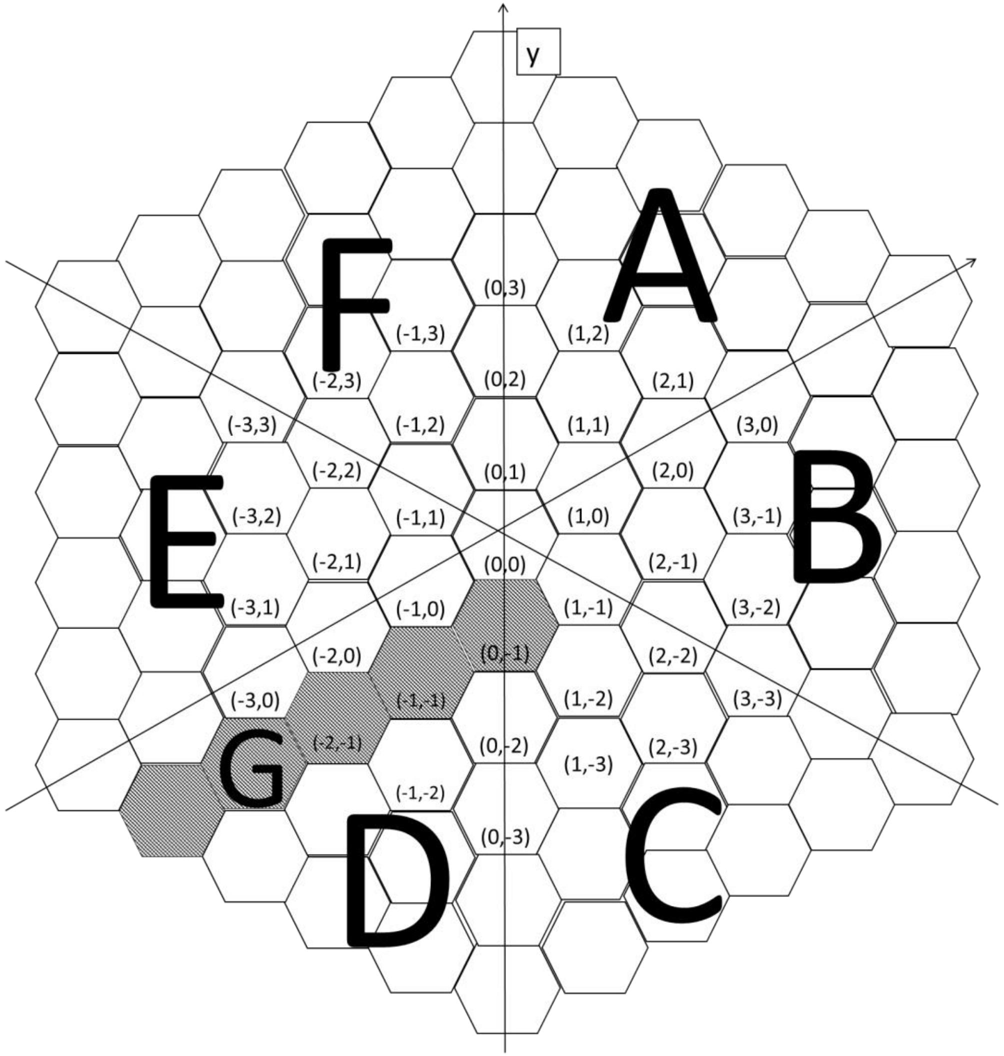
同様の方法で二次元直交座標以外でも原点が存在するし一般的な二次元平面上といった条件の元でロボットのモデルが(async,unknown,small)の時,集合を達成する汎用アルゴリズムを設計した

汎用アルゴリズム　GeneralAlgorithm

1: Predicate
2:Spin(r)≡特定の点に向かうための条件
3:Upper(r)≡距離を縮めるための条件
4: stay(r)≡ロボットが動かないための条件
5: Action
6: Spin::Spin(r)→特定の点に向かって右回りに移動
7: Upper::Upper(r)→距離を1縮める移動
8: stay::stay(r)→移動しない

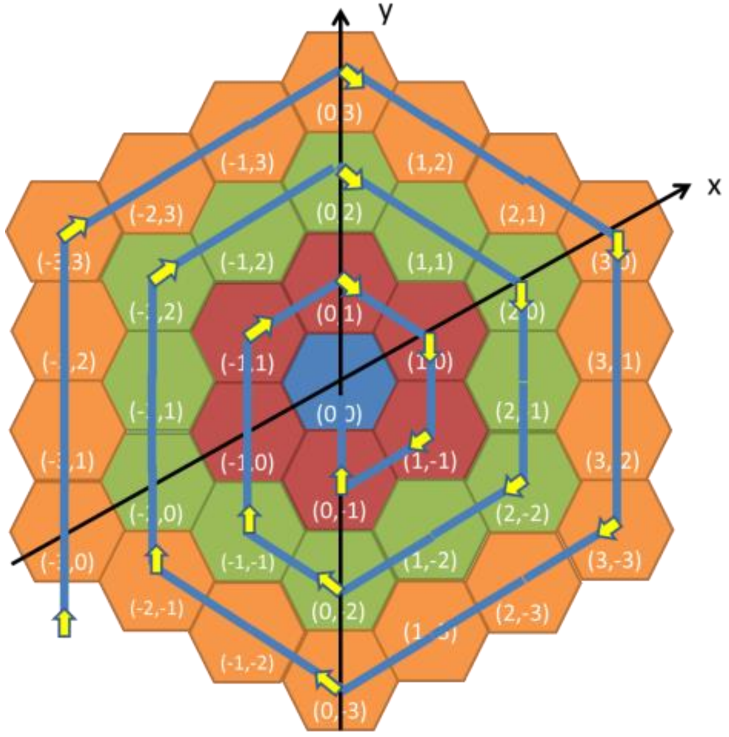
必要な要素
・共通の原点
・右周りに対する合意
・点を区別することができ
・距離を計算できる

右回りの移動の実現


y
A
B
C
D
E
F
G
(0,3)
(-1,3)
(1,2)
(-2,3)
(0,2)
(2,1)
(-3,3)
(-1,2)
(1,1)
(3,0)
(-2,2)
(0,1)
(2,0)
(-3,2)
(-1,1)
(1,0)
(3,-1)
(-2,1)
(0,0)
(2,-1)
(-3,1)
(-1,0)
(1,-1)
(3,-2)
(-2,0)
(0,-1)
(2,-2)
(-3,0)
(-1,-1)
(1,-2)
(3,-3)
(-2,-1)
(0,-2)
(2,-3)
(1,-3)
(-1,-2)
(0,-3)

六角形グリッドのアルゴリズム

アルゴリズムとその移動パターン



hexagonspiral
1: Predicate
2: up(r) ≡ [(E∨G) ∧{(vy+1) ∉C}
3:rightup(r) ≡ F∧{(vx+1) ∉C}
4: rightdown(r) ≡ A∧{(vx+1,vy-1) ∉C}
5: down(r) ≡ B∧{(vy-1) ∉C}
6: leftdown(r) ≡ C∧{(vx-1) ∉C}
7: leftup(r) ≡ D∧{(vx-1,vy+1) ∉C
8: stay(r) ≡ (v=0)∨
(¬up(r)∧¬rightup(r)∧¬rightdown(r)∧¬down(r)∧¬leftdown(r)∧¬leftup(r))
9: Action
10: up :: up(r) → 行き先を(vx,vy+1)に
11: rightup :: rightup(r) → 行き先を(vx+1,vy)に
12: rightdown :: rightdown(r) → 行き先を(vx+1,vy-1)に
13: down :: down(r) → 行き先を(vx,vy-1)に
14: leftdown :: leftdown(r) → 行き先を(vx-1,vy)に
15: leftup :: leftup(r) → 行き先を(vx-1,vy+1)に
16: stay :: stay(r) → 移動しない

定理

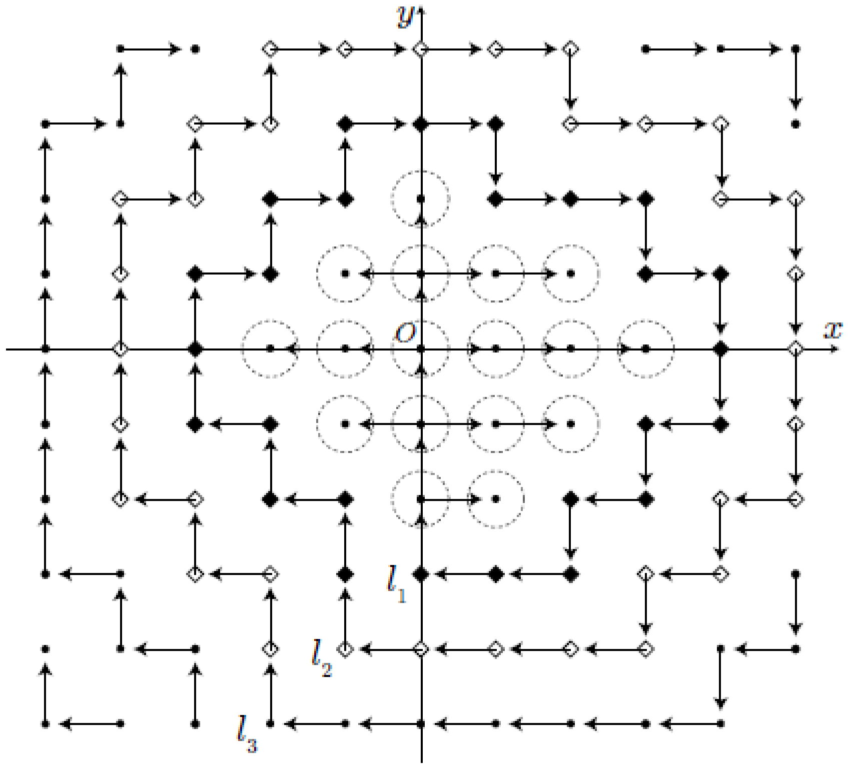
hexagonSpiral∈GA(async,unknown,small)

アルゴリズム hexagonSpiral

正六角形グリッド 共通の座標系有り		**small**	**large**
async	unknown	**hexagonSpiral**	
	known	hexagonSpiral	
sync	unknown	hexagonSpiral	
	known	hexagonSpiral	

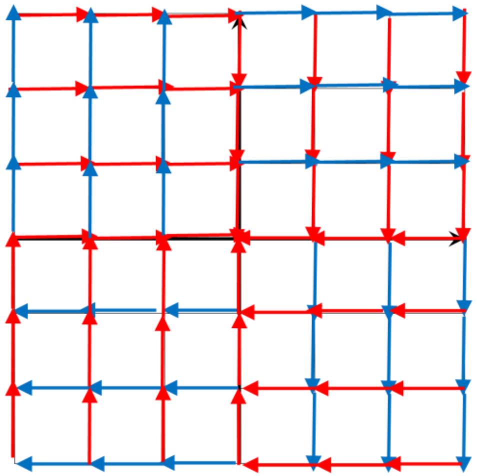
二次元直交座標系において ロボットサイズLargeの時

SpiralSpread∈GA(async,known,large)



集合ポイントの周囲で一方通行を行う

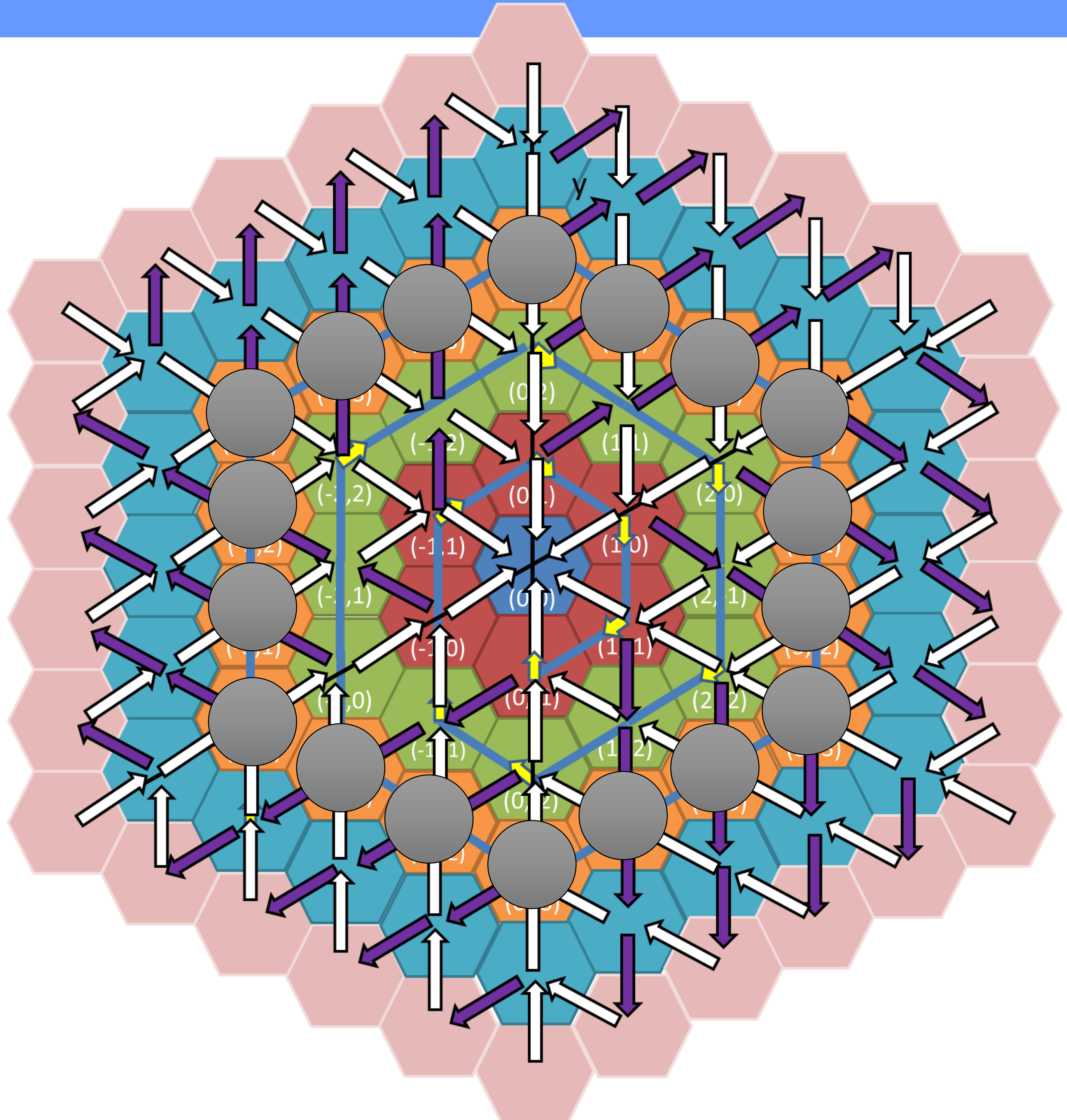
PullSlide∈GA(ssync,unknown,large)



距離を縮める移動Pull
距離を一度離し次のPullで先の右回りの点に移動できる位置に移動するSlide

ロボットサイズLargeに対する結果

二次元直交座標 共通座標系有り		**small**	**large**
async	unknown		
	known		**SpiralSpread**
ssync	unknown		**PullSlide**
	unknown		SpiralSpread PullSlide

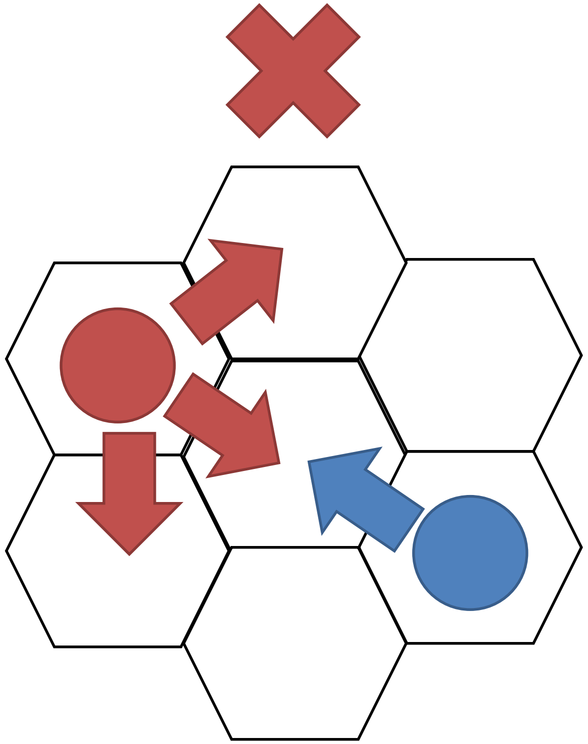


先の移動パターンを正六角形グリッド上で適用しようとすると・・・

同様のパターンのアルゴリズムを作るだけでは集合問題を達成できない

※
GA(async,known,large)
GA(ssync,unknown,large)
が存在しないとはかぎらない

ロボットの視野範囲1で集合が達成できないことの証明

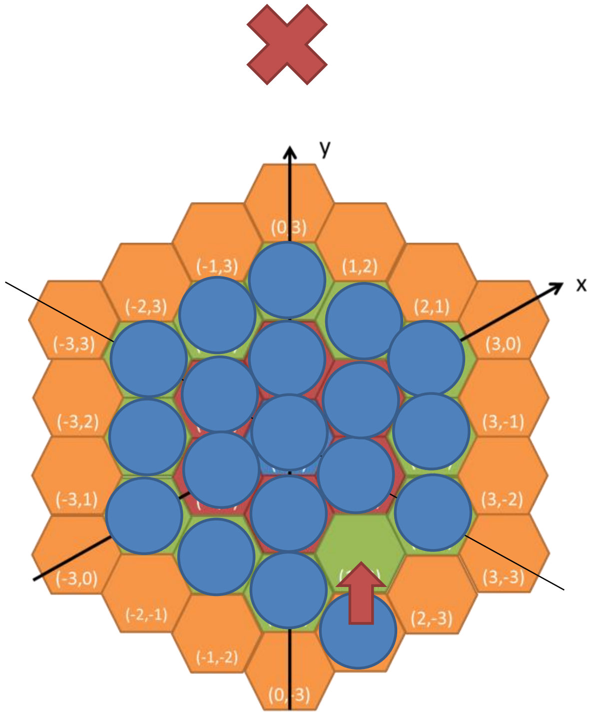


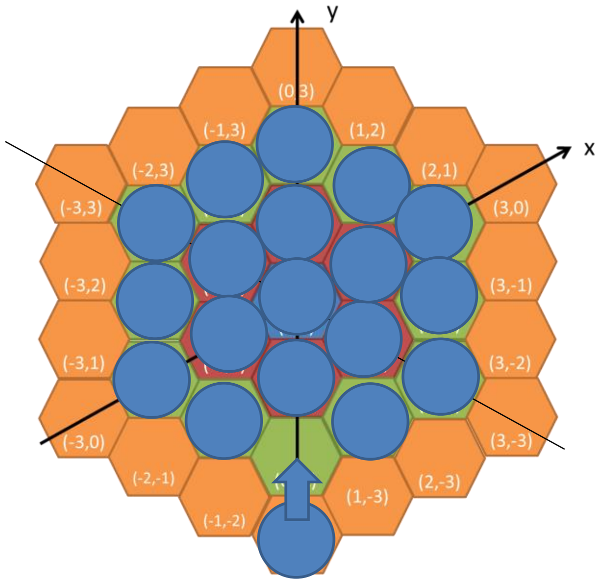
(ssync,known,large)の場合

直線状の距離が2離れた位置において片方のロボットが距離を近づける移動をする可能性がある場合

もう片方のロボットは距離を縮めるまたは同一距離への移動は衝突回避することができない

ロボットの視野範囲1で集合が達成できないことの証明

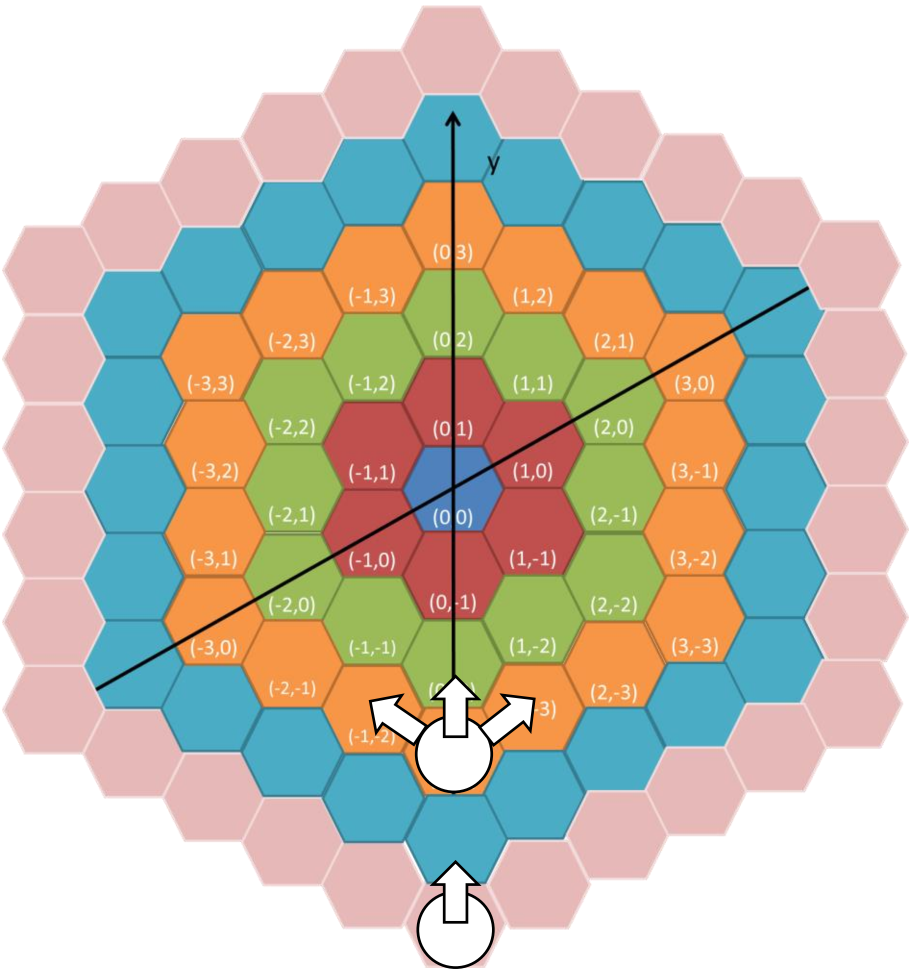




ロボットサイズLargeの時,軸上または|vx|=|vy|となる点以外の点1つを除いてLmaxとLmax-1における全ての点が集合を達成しているとする時,その点にロボットが入ることができず集合が達成できない

よって各距離において必ず1つは軸上において距離を縮める必要がある

ロボットの視野範囲1で集合が達成できないことの証明

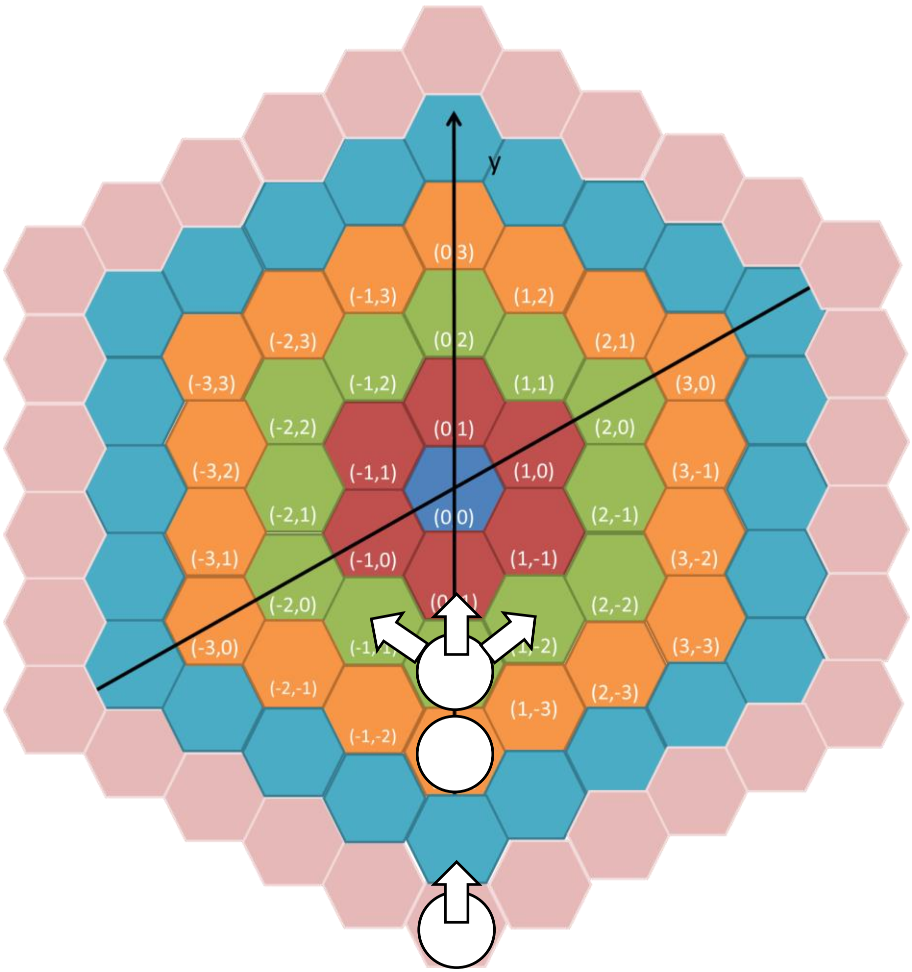


軸上または|vx|=|vy|となる点において距離を近づける移動をする点があると

そこから直線状で原点への距離が2近づいた点において前方3方向への移動しかできない

集合を達成するためにはこのロボットが移動する必要がある

ロボットの視野範囲1で集合が達成できないことの証明

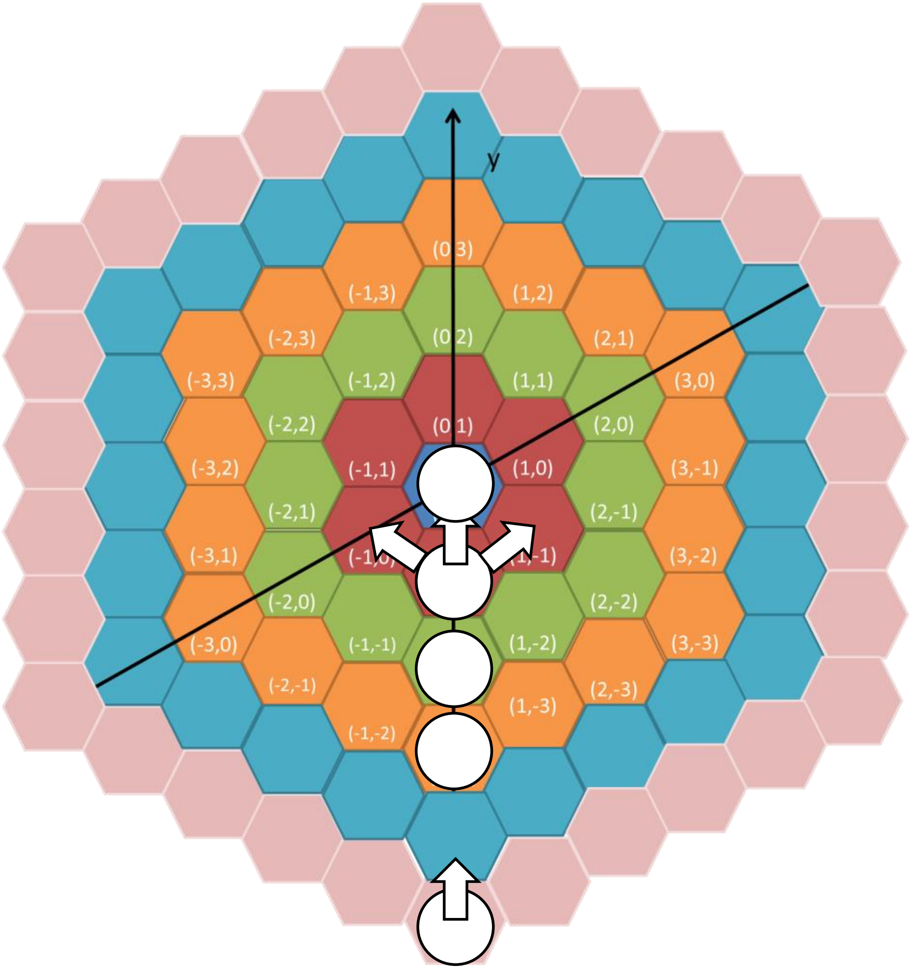


どの方向へ移動する場合でも先ほどの点から原点への距離が1近づいた位置においてロボットがいてはならない

その位置のロボットは前方3方向のいずれかに移動する必要がある

またこのロボットが移動するためにも原点への距離が1近づいた位置においてロボットが前方3方向のいずれかに移動する必要がある

ロボットの視野範囲1で集合が達成できないことの証明



これが原点まで繰り返される

全ての位置にロボットがあった時、直線状のロボットは移動することができないので集合を達成することができない

よって,ロボットの視野範囲1では集合を達成することができない□

ロボットサイズLargeでの非可解性

正六角形グリッド 共通の座標系有り		**small**	**large**
async	unknown		
	known		視野範囲1では非可解
ssync	unknown		視野範囲1では非可解
	known		視野範囲1では非可解

二次元直交座標 共通座標系なし		small	large
async	unknown		
	known		
ssync	unknown		
	unknown	GridPullSpin2	

正六角形グリッド 共通座標系なし		small	large
async	unknown		
	known		
async	unknown		
	known	hexgonPullSpin	

正六角形グリッド 共通の座標系有り		small	large
async	unknown	**hexagonSpiral**	**非可解**
	known	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解
ssync	unknown	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解
	unknown	hexagonSpiral	視野範囲1では非可解

正六角形グリッド 共通の座標系なし		small	large
async	unknown	未解決	非可解
	known	未解決	視野範囲1では非可解
ssync	unknown	未解決	視野範囲1では非可解
	unknown	**hexagonPullSpin**	視野範囲1では非可解

まとめ

- 今後の課題

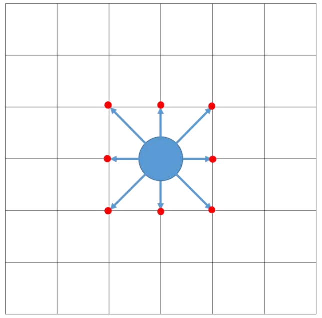
･表における未解決のモデルに対するアルゴリズムを考える

･largeにおける視野範囲2以上での可解性を調べる

まとめ

- 二次元直交座標系と六角形グリッド上でのロボットサイズlargeにおける可解性に違いの理由

二次元直交座標系において距離2となる斜めの位置が視野範囲に含まれている



⇒

·二次元直交座標系において距離1の範囲のみを視野範囲としたとき結果が変わる可能性について検討