2616 学習の包摂構造化による 知能ロボットの知性の創発と人間の巧みさの発現

Emergence of Robot Intelligence and Human Dexterity by Learning with Subsumption Architecture

川副 嘉彦（埼玉工大）

This study has investigated the approach to the emergence of the human's dexterity or proficient skills based on the intelligence or proficient skills in robots with subsumption architecture (SA) for breaking through the problems of the conventional robotics with SMPA (Sense- Model- Plan- Act) framework in the real world. It showed the way of learning in the real world with subsumption architecturizing behavior.

***Key words*:** Human's Dexterity, Autonomous Robot, Intelligence, Subsumption Architecture, Learning, Real world.

1. 緒言

現実世界で本当に知的に動くロボットは現在の延長線上では実現しそうもないことは最近では多くの研究者が認識している．それにもかかわらず従来と同じような開発スタイルが継続されているのは真の解答を誰も知らないからである(1)-(12)．本研究では Sense- Model- Plan- Act に基づく従来のモデル・ベースト・ロボット（図 1）の実環境における本質的な欠陥のブレークスルーのために，新たな未知の実環境においてオフラインで試行錯誤により獲得した反射的運動を学習と定義して，学習した行動を包摂構造化（図 2）して積み上げていく知能ロボットの開発スタイルを提案し，変化する実環境において障害物を回避しながらのロボットの目的行動の発現とスポーツにおける巧みさの発現とを対照し，未来のスポーツのありかたを考えるときに包摂構造の視点が重要であることを指摘したい．

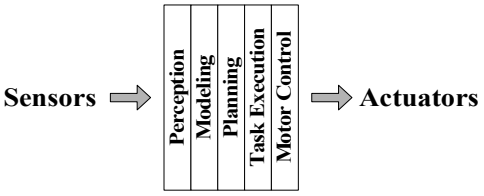


Fig.1 Conventional model-based Robot.

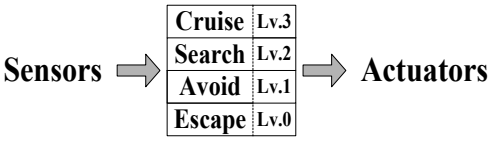


Fig.2 Subsumption architecture model.

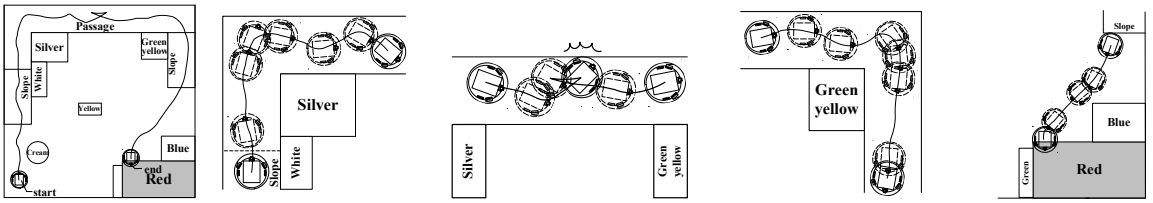
2. 未知環境における学習の包摂構造化による 知能ロボットの巧みさの発現

衝突検知センサ（Bumper）により障害物との接触を検知して方向を変える要素行動（エージェント）Escape，近赤外線センサ(IR)により障害物の接近を検知して回避する要素行動Avoid，直進のみを行う要素行動Cruiseにより実験環境における移動ロボットの巧みな動きの発現とロバスト性について考察し(4)-(6)，さらにIRの代わりに位置検出素子PSDを採用し，CCD カメラでRGBを取得して色を識別して床と壁の赤い部分を判別するとその場で歓喜の右回転をするという要素行動Searchを積み上げて（図２），実験環境Ⅰおよび実験環境Ⅱにおいて自律的に障害物を回避しながらの目的行動をこれまでに考察した(6)．自律走行ロボットは生き物の巧みな動きを思わせ，人間と共存する環境でも適応し，障害物が突然現れたような場合に，高度なアルゴリズムを備えた従来の頭でっかちロボットが危機状態になるのに比べてはるかに知的であった．

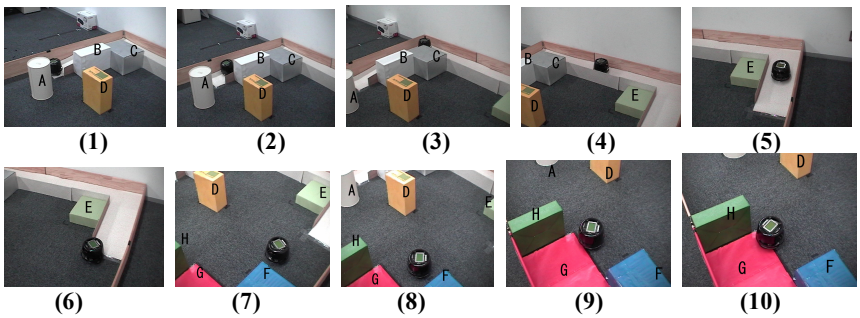
刻々変化する実環境は，ロボットにとっては危険に満ちており，予期せぬ障害に遭遇する．本研究では，坂になった二つの出入口と狭い通路を実験環境Ⅱに追加設置して実験環境Ⅲとし，変化に富んだ新しい未知の実験環境Ⅲにおいて障害物を回避しながらの色探索という目的行動を試み，新たな未知の外界においてロボットが経験に基づいて学習した行動を要素行動としてどのように積み上げたらよいかというアーキテクチャを考察した．新しい要素行動は，新しい未知の実環境との遭遇により生まれるという発想である．ロボット（要素行動 Escape・Avoid・Search・Cruise）は，広い場所（plain）では障害物や人間のような動く障害物があっても大きな衝突をしないで自律走行できたが，未知の実験環境Ⅲにおいて坂になった出入口と狭い通路に入り込んだら坂を上って狭い通路の角まで行って引き返してしまった．通路を巧みに走行出来るように試行錯誤により学習して得られた要素行動を Avoid2 として，Avoid1 は平地(Plain)，Avoid2 は狭い通路(Passage)における障害物回避要素行動とし,PSD 値の組合せにより平地と狭い通路を識別することにした．Avoid2 では前方・左右 45 度の 3 つの PSD にさらに左右 90 度の 2 つの PSD を追加して 5 つの PSD を使用した．図 3 は，狭い通路と坂のある実験環境Ⅲにおいて障害物を回避しながら赤色を探してまわるという目的行動の発現を示す. 図 3(a)は坂になった出入り口と狭い通路を通ってスムーズに目的地に到達したときの軌跡であり, 図 3(b)～図 3(e)は狭い通路での走行軌跡の拡大である．図 3(f)は，図 3(a)での目的地（End Point）までの動きの画像である．このようにして新しい環境との相互作用によって生まれた新しい要素行動を学習により積み上げていけばロボットは危険に晒されることなく行動を広げていくことができる．実践的練習を繰り返し，実践でたとえば 80%以上の成功率で使えるという目処がついたところで本番の試合における武器として加えるという戦術と同じ発想である．図 4 は動く人間の足を動的障害物として認識する回避行動，図 5 は人間の手の動きを認識する回避行動，図 6 は実験環境Ⅲの外界（実環境）において寝転がっている人間の動きを認識して回避行動をするロボットの挙動を示す．

3. スポーツにおける巧みさの発現

頸椎の脱臼・骨折により損傷部以下の知覚と運動が完全に麻痺した障害者の「靴下はき」のリハビリは，まず(a) 転倒しないことを徹底して練習する，次に(a)



(a) Trajectory (1) of EnvironmentⅢ (b) Trajectory(2) of ascend & right turn (c) Trajectory(3) at narrow passage (d) Trajectory(4) right turn & descend (e) Trajectory(5) to End Point



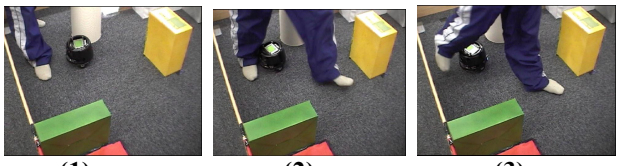
(1) (2) (3) (4) (5)

(6) (7) (8) (9) (10)

(f) Corresponding to Figure (a)

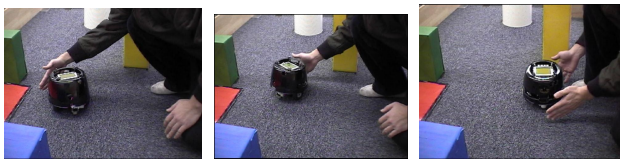
A:Cream
B:White
C:Silver
D:Yellow
E:Greenyellow
F:Blue
G:Red
H:Green

Fig.3 Autonomous and objective behaviors with learning by SA(Escape・Avoid1・Avoid2・Search・Cruise). Search for Red color with CCD camera in a new unknown environment.



(1) (2) (3)

Fig.4 Avoid behavior with moving human legs



(1) (2) (3)

Fig.5 Avoid behavior with moving human hands

(1) (2) (3)

Fig.6 Avoid behavior with moving human body lying down outside EnvironmentⅢ.

を持続しながら,(b) 足と手が接触する位置に脚をもってくる練習，(a)(b)を持続しながら，(c) 全身の変形を持続したまま足先位置で手先の操作をする，という３種を目標として練習する．(b)と(c)の間も(a)が持続して達成されていることが重要である[5][6]．野球の達人・イチロー選手の練習もリハビリと似ている．(a)日本における 1994 年の大記録 210 安打（ボールにバットを当てる技術）の翌年，さらに(b)本塁打と打点を飛躍的に伸ばした（遠くへ飛ばす技術）．(c)大リーグ２年目の開幕戦２試合のヒットは，いずれも「追い込まれて」から打った「決して綺麗ではない」ヒットだったという．彼がオープン戦で絶好球をあっさり見逃していたのは，わざとツーストライクに追い込ませておいて，そこからの対応を試すためだったという[5][6]．４年目を迎えた開幕１週間前に，「練習でできることは，もう終わっている．これから１週間練習しても同じ．あとはゲーム（感覚）」．「毎年，重圧があるようにしたい．プレシャーのないシーズンにはしたくない」 「（目標に）真新しいものはない．進化という言葉は好きではないが，そういう方向ではありたい」[13]．公式戦で遭遇した課題をキャンプで学習して包摂構造化して要素行動として積み上げているように見える．「やるべきことを一つ一つ積みあげていくのです．そうすると，そうしようと思わなくても，結果は出てくるのだと思う」ということになる[6]．

4. 結 論

大規模プロジェクトとして展開されつつある最先端の知能ロボットでさえ，現状では，その行動はヨチヨチ歩きの赤ちゃんレベルであり，赤ちゃんに幾何学や物理学の知識を詰め込むような開発スタイルが依然として展開されている．ロボットはプログラム通りに動くだけで，設計者のみが賢くなるように見える．本研究では，刻々変化する危険に満ちた未知の実環境はモデル化や従来のリアルタイムでの学習の概念が非現実的であることを指摘し，実環境（現場）で遭遇した課題をオフラインで学習（練習）し，その結果を要素行動として積み上げていくような知能ロボットの現実的な開発スタイルを提案した．このような学習の包摂構造化が未来のスポーツの上達法・練習法などのありかたを考えるときにもきわめて示唆的である．

文献

(1) Brooks, R. A., IEEE J. Robotics and Automation, 2-1, 14-23 (1986).
(2) Brooks, R. A., Artificial Intelligence, 47, (1991), 139-159.
(3) Gomi, T, ER'98, AAI Books, (1998), 487-519.
(4) 川副嘉彦，2002 年度年次講論文集, 171-172，(2002).
(5) 川副嘉彦，埼玉工業大学紀要，第 11&12，9-31,(2002).
(6) 川副嘉彦, D&D Conference 2003, CD-ROM 集, (2003).
(7) 梅谷陽二，日本ロボット学会誌，20-6,(2002), 566- 567.
(8) 有本卓，日本ロボット学会誌，20-6，(2002)，569-570.
(9) 広瀬茂男，日本ロボット学会誌，21-2, (2003), 138-140.
(10)國吉康夫，計測と制御，42-6, (2003), 497-503.
(11)井上博允，日本ロボット学会誌，22-1,(2004), 2-5.
(12)比留川博久，日本ロボット学会誌，22-1,(2004),6-9.
(13)朝日新聞，2004 年 2 月 27 日.