

B-05

Ms. Pac-Man シミュレータにおける リスク戦術の使用頻度のオンライン調整

Online Adjustment of Frequency in Use of Risky Tactics for Ms. Pac-Man Simulator

中村 昌弘† 白川 哲夫† ラック・ターウォンマット†
Masahiro Nakamura Tetsuo Shirakawa THAWONMAS Ruck

1. はじめに

1.1 研究背景

知能エンターテインメント研究室では Ms Pac-Man vs Ghosts Competition^[1]と呼ばれる大会に毎年出場している。この大会ではパックマンを操作するシステムと、4体のゴーストを操作するシステムを戦わせ、各々の部門の優秀なシステムを決定する。

パックマンを操作するシステムで上位を狙う際に問題となるのは、ハイリスク・ハイリターンな戦術をいかにして使うかである。リスクのある行動を避けるように調整した場合、弱いゴーストに対しスコア（評価）を伸ばす機会を逃し、逆の場合では強いゴーストにすぐにやられてしまい、スコアが低くなってしまう。

本研究では予めリスク戦術の使用頻度を決定しておくのではなく、ゴーストと対戦中に相手に合わせて調整することで、この問題を解決することを目的とする。

1.2 Ms. Pac-Man シミュレータとは

Ms. Pac-Man は 1981 年にバリー＝ミッドウェイよりアメリカで発売された、日本のゲーム「パックマン」の強化版であるアーケードゲームである。Ms. Pac-Man シミュレータはこの Ms. Pac-man を PC 上にて再現したものであり、本来操作できないゴーストの制御を可能としている。このシミュレータは Ms Pac-Man vs Ghosts Competition にて使用され、公式サイトから配布されている。本実験では 2013 年 7 月時点で最新バージョンである v6.2 を使用する。

1.3 ゲームのルール

プレイヤーはパックマンとよばれるキャラクターを操作する。マップ上に存在する約 200 個のピルと 4 個のパワーピルを、敵である赤、黄、シアン、ピンクの 4 体のゴーストに触れないようにすべて食べることができればレベルクリア、ゴーストに触れれば残機が減少し、残機が 0 となったときにゲームオーバーとなる。ゲームオーバー時のスコアが最終スコアとなる。

パワーピルは特殊なピルであり、パックマンがこれを食べるとゴーストは一定時間の間エディブル状態になる。エディブル状態ではゴーストに触れてもゲームオーバーにはならず、逆に点数が加わる。加算される点数は 200, 400, 800, 1600 と上昇するが、エディブル状態が解除されると上昇はリセットされる。残機は 3 からスタートするが、スコアが 10000 点を超えたとき、ボーナスとして +1 される。ゴーストはゲーム開始時、及びエディブル状態でパックマンに触れたとき、巣と呼ばれる場所へ飛び、一定時間ゲームから離れる。

次に Ms. Pac-Man シミュレータ v6.2 のみのルールを挙げる。シミュレータ版ではレベルごとの制限時間が設けられており、これを超えると強制的に次のレベルに進む。レベルの制限時間は現バージョンでは 4000 サイクルとされている。またゲーム自体にも制限時間があり、これを



① パックマン	⑤ エディブル状態ゴースト	⑩ 現在レベル
② ゴースト	⑥ 巣	⑪ 現在レベルの経過時間
③ ピル	⑦ スコア	⑫ 残機数
④ パワーピル		

図 1. ゲーム画面

超えるとライフが残っていてもゲームオーバーとなり、その時点でのスコア + 残機数 × 800 が最終スコアとなる。ゲームの制限時間は現バージョンでは 24000 サイクルとなっている。パックマンとゴーストの速度は同一で、長い経路にて後ろから追いつかれることがなくなっている。^[2]

2. リスク戦術

2.1 リスク戦術とは

ゲームを進行するうえで重要となるのが、リスクがあるがスコアを伸ばせる戦術である。本論文では離れた場所に存在するピルを食べることがリスク戦術に相当する。

ピルを食べることは直接的にスコア上昇には繋がらない。スコア上昇の主な要因はエディブル状態のゴーストに触れたときのスコアである。4 体全てに触れた場合、合計 3000 ものスコアが加算される。ピルが 1 個 10 のスコア、1 レベルに存在するピルが約 200 個であることと比較すると、4 つのパワーピルで狙えるスコアは大きい。

ピル狙いの利点は多くのレベルに進めることである。レベルの制限時間が 4000 サイクル、ゲームの制限時間が 24000 サイクルであり、ピルを食べずにレベルを薦めていった場合 6 つのレベルに進める。しかし仮に 3000 サイクルでピルを食べきってクリアしていった場合、8 つのレベルに進むことができる。つまり前者よりも 8 つ多くパワーピルを食べることができ、大幅なスコア上昇が期待できる。

しかしピルは狭み撃ちにあいやすい場所など危険な場所に配置されているものもあり、ピルを食べることを優先し

すぎると残機を失う可能性がある。残機を全て無くした場合ゲームオーバーとなり、ピル狙いをしなければ進むことが出来たレベルでのスコア上昇の機会を逃してしまう。

2.2 使用上の問題点

大会でのパックマンの評価は以下の手順で行われている。

- i. パックマン同士のペア（以下 A,B とする）を組む。
- ii. ある一種のゴースト（以下 G とする）と A,B でゲームを行う。
- iii. G と A でのスコア, G と B でのスコアを比較し、高いほうがより優れたパックマンのシステムとみなす。

ここで重要なのが、ゴーストは弱いものも強いものも選ばれることである。もし強いゴースト相手にリスク戦術を多用した場合、低いレベルでゲームオーバーとなってスコアが低くなる。しかしそれを想定してリスク戦術の頻度を減らした場合、今度は弱いゴースト相手にスコアを伸ばす機会を逃し、ペアを組んだパックマンに負けてしまう可能性がある。ここでは実験を行い、頻度の差でどれほどスコアや到達レベルが変わるのかを検証する。

2.3 実験

実験は Ms Pac-Man vs Ghosts League の Pac-Man 部門にて 1 位を獲得したシステム「ICEP-IDDFS」^[3]内のリスク戦術の頻度に関わる閾値を調整し、スコアと到達レベルを検証することで、性能を比較する。

閾値は ICEP-IDDFS 内の反復深化法によって探索したゲーム距離と比較される。閾値よりも長く探索を行った場合、十分な安全性があるとみなしリスク戦術を実行する。それ以外では危険とみなしゴーストの回避を行う。閾値を低く設定した場合安全とみなす割合が多くなり、より積極的にリスク戦術を使用するようになる。なお最も近いピルが閾値で設定した距離よりも遠くに存在する場合、閾値を一時的に最も近いピルまでの距離に置き換えることで安全性を確保する。オリジナルは 70 に設定してあり、強弱関係なくリスク戦術を多用するようになっている。本実験では 30~250 まで 20 ずつ値を変え検証を行う。

実験では Legacy, Legacy2theReckoning, Weak-eiisolver, eiisolver の 4 種類を使用する。Legacy, Legacy2theReckoning はゴーストのサンプルとしてシミュレータに添付されているもので、簡単なルールに基づいて動く、弱いゴーストである。eiisolver は Ms Pac-Man vs Ghosts Competition にて、WCIG2012, CIG2012 の二大会にて一位を獲得した、十分に強いといえるゴーストである^[4]。eiisolver と Legacy, Legacy2theReckoning では強さの差が大きいため、eiisolver にランダムな行動を混ぜ弱くさせた Weak-eiisolver を用意し、その間を埋める。

試行回数は 100 ゲーム、ゲームルールは大会で行われている形式をそのまま使用する。

2.4 実験結果

各閾値での平均スコアと平均到達レベルを図 2. に示す。このままではスコア・到達レベルの変移が確認しづらいため、これらの平均で最も高い値を 1, 最も低い値を 0 として正規化を行ったものを図 3. に示す。閾値によってスコア・到達レベルが変移すること、到達レベルとスコアの上下が連動していること、ゴーストの種類によって最も高い値を出す閾値が違うことが確認できる。

興味深いのが、Weak-eiisolver, eiisolver において、最大

値が出た前後で値が大きく下がっていることである。より詳細に調べたところ、最大値が出た閾値ではスコアが 10000 点を超えることが多かった。1.3 で説明したように、10000 点を超えると残機が一つ増え、スコアアップの機会が増える。最大値が出た閾値ではそれをうまく活用しスコアを伸ばし、それ以外の閾値ではリスク戦術を取り過ぎてすぐに死ぬか、慎重になりすぎて 10000 点に到達できなかったと予想される。

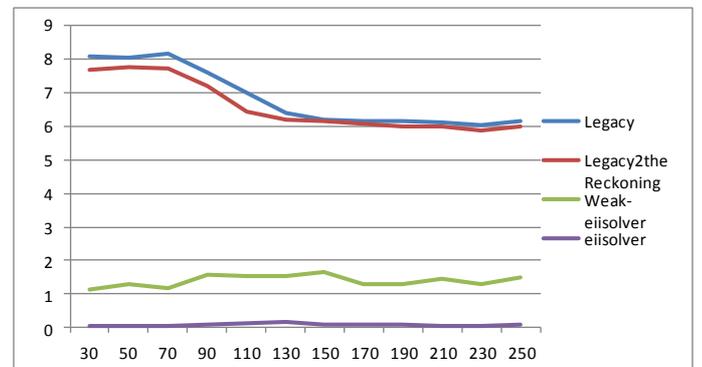
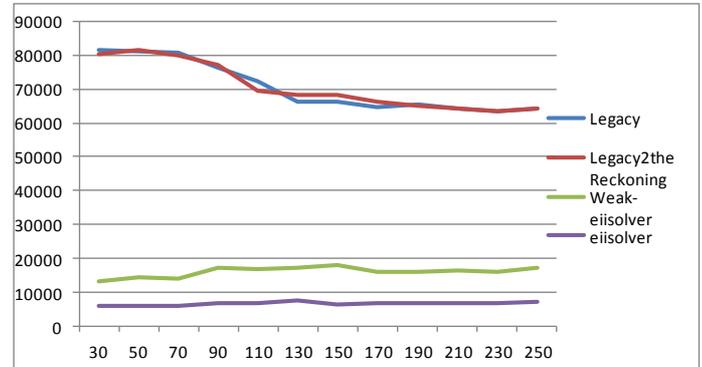


図 2. 平均スコアと平均到達レベル

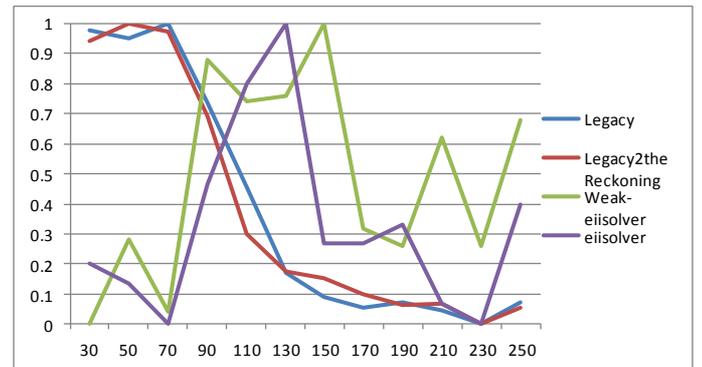
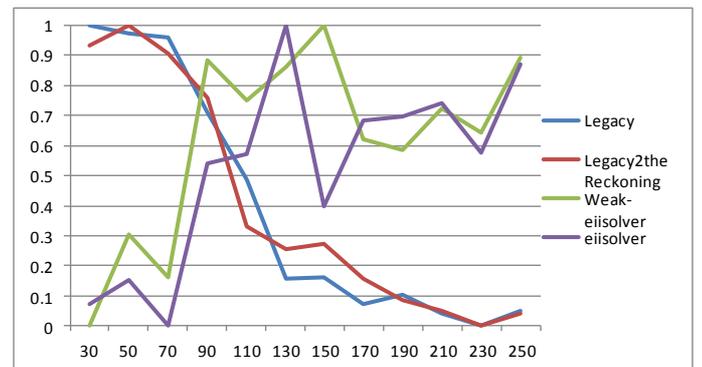


図 2. 正規化した平均スコアと平均到達レベル

3. オンライン調整

3.1 ゴースト判別

リスク戦術の問題点を改善するための手法として、予め頻度を決定するのではなく、ゲーム中に変更する方法を考えた。即ち対戦相手に合わせて頻度を最適なものに変えることで、高いスコアの獲得を目指すのである。

しかし Ms. Pac-Man シミュレータの仕様として、ゴーストの名前などの情報は取得できないようになっており、ゲーム内での行動のみから判別する必要がある。また有利な行動を多くとるので強い、という判別を試みても、ゴーストにとって有利な行動とは状況によって変わり、単純な関数によって判別するのは困難である。そこで判別にサポートベクターマシンを用いて、より正確にゴーストを判別できるようにする。

3.2 サポートベクターマシン

サポートベクターマシン（以下 SVM）とは教師あり学習による識別手法である。他の機械学習による識別と比較して、複数種のデータ間との距離（マージン）が最大になる識別面を用いるため誤差が少なく、また次元数が増加しても正答率が高いという特徴がある。

次にこの SVM に与えるデータの次元を考える。各種ゴーストと ICEP-IDDFS のゲームを観察し、強弱によって変化する要素を観察したところ、以下の 6 つに差があるように感じられた。

- i. スコア(Score)
ゴーストの種類によってスコアの上がり幅が異なる。
- ii. 残機数(Life)
ゴーストに触れて残機数が減る、スコアが 10000 点を超えて残機数が増える、といった差がある。
- iii. 最大 Safe Distance (MSD)
パックマンがゴーストに触れずに移動できる距離を Safe Distance と呼ぶ。強いゴーストはこれを縮める動きが活発。
- iv. Safe Junction 数 (SJ)
Safe Distance 内に存在する交差点の数。
- v. 最遠ゴースト距離 (MGD)
ゴーストが最も合理的にパックマンを追い詰める場合、最遠ゴーストは一定の距離内にとどまる。
- vi. 最近ゴースト-最近 PP 距離 (mG-PP)
強いゴーストはパックマンがパワービルに近づいた時、エディブル状態によるスコア上昇を避けるためパックマンから遠ざかる。

なお iii.~vi.の要素はゲームの状況によって変化するため、毎秒ごとに合計し、経過時間で割ることで平均を求める。その際ゴーストがエディブル状態や巣にいる状態など、強さに関わらずゲーム全体の状態が変化している場合の数値を足すとノイズとなるため、それらゴーストが弱くなる状況では数値を足さないようにする。

これらの要素が効果的なのかを検証するため、ある要素を使う・使わないの組み合わせを行い、どの組み合わせの正答率が高いかを見る。

3.3 実験

実験には台湾国立大学の Chih-Chung Chang と Chih-Jen Lin によって作成された LIBSVM (A Library for Support Vector Machines)^[5]を使用する。

次に SVM に与えるデータを設定する。Legacy,

Legacy2theReckoning, Weak-eiisolver, eiisolver の 4 種類のゴーストとのゲームを行い、1500 サイクル時に 3.2 で挙げた各種のデータを出力する。これを各々のゴーストで 50 回繰り返す、計 200 個のデータを作る。最後に各次元の最小値と最大値を[-1,1]とし正規化を行い、正規化された 200 個のデータを SVM に与える。ビル狙いの閾値は、対 eiisolver で最も高いスコアを収めた 130 に設定する。これはゲームオーバーによるロスを避けるためである。

SVM の設定として、SVM のタイプは C-SVM、カーネル関数は RBF、C 値は 1、 γ 値は 1、5 交差による検証を行う。

3.4 実験結果

次元の組み合わせと正答率を表 1 に示す。なお組み合わせを全て記すと膨大になるため、正答率上位 5 組のみを記す。

表 1. 組み合わせと正答率

スコア	残機数	MSD	SJ	MGD	mG-PP	正答率
—	○	—	○	○	○	80
—	○	—	○	○	—	79
○	○	—	○	○	—	78
○	○	○	—	○	○	77
○	○	○	○	○	○	75

実験結果から、残機数、MGD は効果的に働き、スコア、MSD は逆に無い方がよいことが推測される。

4. 統合実験

4.1 実験

実験に用いるパックマンの自動制御システムは、2.2 で使用したシステムに、3.3 で使用した LIBSVM に内蔵されている判別モジュールを組み合わせる。3.3 の実験同様、1500 サイクル時に各次元のデータを判別モジュールに与える。SVM による判別によって出力されたゴーストの判別結果から、それに最も適したビル狙い閾値を設定する。今回の実験での閾値の設定は、対 Legacy で 30、対 Legacy2theReckoning で 50、対 Weak-eiisolver で 150、対 eiisolver で 130 となっている。1500 サイクルより前の閾値は、3.3 同様 130 に設定する。

次に SVM の判別が誤っていた場合のリカバリーを考える。2.4 で求めた各実験データのうち、各々のゴーストの最大到達レベルを調べたところ、対 eiisolver で 1、対 Weak-eiisolver で 5、対 Legacy, Legacy2theReckoning で共に 9 であった。もしこれらの種のゴーストと判別した後、最大到達レベルを超えた場合、誤っていたと判別できる。その場合のビル狙い閾値は 1 つ下の強さのゴースト

(eiisolver→Weak-eiisolver→Legacy2theReckoning) のものを使用する。

この自動制御システムを用いて、Legacy, Legacy2theReckoning, Weak-eiisolver, eiisolver の 4 種類のゴーストとゲームを行う。SVM のモデルデータ、与えるデータの次元の組み合わせは 3.4 で正答率が 1 位だったものを使用し、試行回数は 100 回、ゲームルールは大会で行われている形式をそのまま使用する。

4.2 実験結果

表 2. 各スコア平均の比較

スコア	30.0	50.0	130.0	150.0	ICEP-IDDFS	提案手法
Legacy	81637.1	81119.3	66304.3	66356.0	80886.9	82080.7
Legacy2theReckoning	80413.0	81602.2	68108.9	68387.2	79878.9	78972.3
Weak-eiisolver	13029.1	14494.0	17171.0	17829.6	13802.7	14813.3
eiisolve	5791.0	5920.9	7281.7	6312.7	5673.8	6947.0

表 3. 各スコア平均とベストスコア平均との比率

対ベストスコア比率	30	50	130	150	ICEP-IDDFS	提案手法
Legacy	100.0	99.4	81.2	81.3	99.1	100.5
Legacy2theReckoning	98.5	100.0	83.5	83.8	97.9	96.8
Weak-eiisolver	73.1	81.3	96.3	100.0	77.4	83.1
eiisolve	79.5	81.3	100.0	86.7	77.9	95.4
平均	87.8	90.5	90.2	87.9	88.1	94.0

2.3 から抜粋した、各ゴーストに対し最適な閾値を用いた際の平均スコア、及び従来のシステムの平均スコアと提案手法を導入したシステムの平均スコアを表 2., それらのスコアと各ゴーストに対してのベストスコアとの比率を表 3.に示す。

表 3.から、提案手法がどのゴーストに対してもスコアを大きく下げることなく対応できていることが確認できる。特に比率の平均がどの閾値のものよりも高いこと、Legacyにおいてベストスコアを上回るスコアを出したことは注目に値する。一方で Weak-eiisolver に関しては他のものよりも比率が低い。これは SVM の誤判断により、適した閾値を用いられなかったと予想される。

5. おわりに

今回のアプローチにより、1 位を獲得したシステム「ICEP-IDDFS」のスコアをより伸ばすことが出来た。

今後の課題として、まず SVM の正答率を上げることがある。また、今回はモデルデータの作成に用いたゴーストと全く同じ種類のを判別したが、これが未知のゴーストにも応用出来るか検証することも挙げられる。

本論文ではゴーストの判別結果を戦術使用にのみ用いたが、これを探索など他の制御の部分にも組み込むことが出来れば、よりスコアを上げられると予想される。また、敵の判別による戦術変更は Ms. Pac-Man シミュレータ以外のゲームにも応用出来るかと推測される。今後はシステムの改善とともに他のゲームへの応用も検討する。

参考文献

- [1] Ms Pac-Man vs Ghosts Competition
<http://www.pacman-vs-ghosts.net/>
- [2] New Rules for CIG 2012
<http://www.pacman-vs-ghosts.net/rules/changes>
- [3]ICEP-IDDFS
<http://www.pacman-vs-ghosts.net/users/268>
- [4]Past Competitions
<http://www.pacman-vs-ghosts.net/competitions/>
- [5] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin :
LIBSVM -- A Library for Support Vector Machines
<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>