

Моделирование взаимодействия между обучением и эволюцией

Редько В.Г.

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН
vgredko@gmail.com

Abstract

The model of interaction between learning and evolutionary optimization is investigated. The mechanisms of this interaction are analyzed using the quasispecies model.

1 Введение

Взаимодействие между обучением и эволюцией изучалось путем компьютерного моделирования рядом исследователей. В хорошо известной работе Хинтона и Новлана [1] было продемонстрировано, что обучение может направлять эволюционный процесс к нахождению оптимума. В [2] было показано, что эффективное обучение также может и препятствовать эволюционной оптимизации, если обучение увеличивает шансы нахождения хорошего фенотипа независимо от генотипа особи. Это было названо в [2] эффектом экранирования. В [2] было также учтено, что процесс обучения имеет дополнительную нагрузку на особь (обучение требует времени и ресурсов) и приспособленность особи может уменьшаться под влиянием этой нагрузки. Важную роль во взаимодействии между обучением и эволюцией играет генетическая ассимиляция, при которой индивидуально приобретаемые путем обучения навыки «переизобретаются» эволюцией и записываются непосредственно в генотип особей. Однако в [1,2] были использованы довольно сложные схемы генетического алгоритма со скрещиванием, поэтому было продемонстрировано само влияние обучения на эволюцию, а механизмы генетической ассимиляции, эффекта экранирования и влияния нагрузки на обучение, не были четко представлены. В нашей работе [3] была использована одна из наиболее четких моделей эволюции – модель квазивидов Эйгена (без скрещивания) [4,5], что позволило количественно проанализировать указанные механизмы. В настоящей работе продолжен анализ работы [3] и построена дополнительная модель на базе подхода Хинтона и Новлана [1] с использованием модели квазивидов [4,5].

2 Основная модель

Рассматривается эволюционирующая популяция особей. Каждая особь имеет генотип и фенотип, которые определяются одинаковыми по форме цепочками символов. Генотип k -й особи S_{Gk} представляет собой цепочку символов S_{Gki} , $k = 1, \dots, n$, $i = 1, \dots, N$. Длина цепочки N и численность популяции n велики: $N, n \gg 1$, $2^N \gg n$. Символы S_{Gki} равны 0 либо

1. Генотип особи не меняется в течение ее жизни и передается (с малыми мутациями) потомкам особи. В момент рождения k -й особи ее фенотип S_{P_k} равен генотипу: $S_{P_k}(t=1) = S_{Gk}$. Время дискретно: $t = 1, \dots, T$. T – время жизни одного поколения. Фенотип S_{P_k} меняется в течение жизни особи путем обучения.

Имеется оптимальная цепочка S_M длины N (символы которой также равны 0 или 1), которая ищется в процессе эволюции и обучения особей. При обучении меняются текущие символы фенотипа S_{P_k} : каждый такт времени t каждый символ $S_{P_{ki}}$ меняется на случайный (равный 0 либо 1), и если новый символ $S_{P_{ki}}$ совпадает с соответствующим символом S_{M_i} оптимальной цепочки S_M , то этот символ сохраняется, в противном случае происходит возврат к старому символу фенотипа S_{P_k} .

В конце поколения происходит отбор особей в соответствии с их приспособленностями, определяемыми конечными фенотипами особей при $t = T$. Обозначим $S_{Fk} = S_{P_k}(t=T)$. Приспособленность k -й особи определяется расстоянием по Хеммингу $\rho(S_{Fk}, S_M)$ между S_{Fk} и S_M :

$$f_k = \exp[-\rho(S_{Fk}, S_M)] + \varepsilon, \quad (1)$$

параметр ε характеризует влияние случайных факторов на приспособленность особей, $0 < \varepsilon \ll 1$. Особи в новое поколение отбираются с вероятностями, пропорциональными приспособленностям особей.

Дополнительно учитывается роль нагрузки на обучение. В этом случае вводятся модифицированные приспособленности особей:

$$f_{mk} = \exp(-d) \{ \exp[-\rho(S_{Fk}, S_M)] + \varepsilon \}, \quad (2)$$

где $d = \rho(S_{Gk}, S_{Fk})$ – расстояние по Хеммингу между начальным и конечным фенотипом особи.

Путем компьютерного моделирования были проанализированы а) генетическая ассимиляция, б) эффект экранирования и в) влияние нагрузки на обучение на взаимодействие между обучением и эволюцией. Параметры расчета были равны: длина цепочек $N = 100$, численность популяции $n = 100$, вероятность замены любого символа генотипа в одном поколении $p_m = 0.01$, длительность поколения $T = 2$, параметр случайных факторов $\varepsilon = 10^{-6}$.

Были сопоставлены режим эволюции с обучением (изложенный выше) и режим эволюции без обучения и показано, что обучение может приводить к генетической ассимиляции и радикальному ускорению эволюции.

Механизм генетической ассимиляции иллюстрируется рис. 1, на котором представлено распределение особей $n(\rho)$ по ρ (ρ – расстояние по Хеммингу до оптимальной цепочки S_M) в разные моменты первого поколения эволюции.

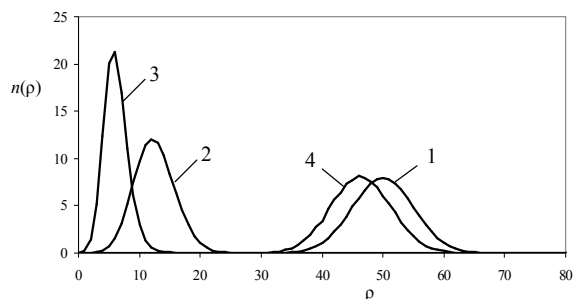


Рис. 1. Распределение особей $n(\rho)$ по величинам ρ в первом поколении эволюции

Кривая 1 на рис. 1 показывает распределение по $\rho = \rho(S_{G_k}, S_M)$ для исходных генотипов особей в начале поколения. Кривая 2 показывает распределение по $\rho = \rho(S_{F_k}, S_M)$ для особей после обучения, но еще до отбора. Кривая 3 показывает распределение по $\rho = \rho(S_{F_k}, S_M)$ для отобранных особей. Кривая 4 показывает распределение по $\rho = \rho(S_{G_k}, S_M)$ для генотипов отобранных особей в конце поколения. Генотипы отобранных особей S_{G_k} достаточно близки к фенотипам обученных и отобранных особей S_{F_k} , поэтому распределение по $\rho = \rho(S_{G_k}, S_M)$ для генотипов (кривая 4) перемещается в сторону распределения для конечных фенотипов S_{F_k} (кривая 3). В следующих поколениях происходит аналогичное дальнейшее смещение распределения $n(\rho)$ в сторону меньших значений ρ . Такое смещение характеризует механизм генетической ассимиляции: свойство приближения к S_M , полученное в результате индивидуального обучения, становится наследуемым.

Был количественно проанализирован механизм эффекта экранирования, при котором сильное обучение тормозит эволюционный поиск.

Был проведен анализ влияния нагрузки на обучение. Для этого случая приспособленность определялась выражением (2). Было показано, что учет нагрузки на обучение приводит к усилению генетической ассимиляции и значительному ускорению эволюции.

Подробнее результаты исследования основной модели представлены в [3].

3 Дополнительная модель

Для сопоставления с подходом Хинтона и Новлана [1] была построена дополнительная модель, также основанная на модели квазивидов. В дополнительной модели изменялись только приспособленности особей следующим образом.

Обычно приспособленность k -й особи определялась конечным фенотипом:

$$f_k = \exp[-\rho(S_{F_k}, S_M)], \quad (3)$$

где $S_{F_k} = S_{P_k}(t = T)$, $\rho = \rho(S_{F_k}, S_M)$ – расстояние по Хеммингу между S_{F_k} и оптимальной цепочкой S_M .

С учетом нагрузки на обучение приспособленность модифицировалась:

$$f_{mk} = \exp(-d) \exp[-\rho(S_{F_k}, S_M)], \quad d = \rho(S_{G_k}, S_{F_k}). \quad (4)$$

Компьютерное моделирование показало, что результаты по дополнительной модели почти совпадали с результатами исследования основной модели. Для дополнительной модели не было только явного сопоставления режимов эволюции с обучением и эволюции без обучения.

Совпадение существенных результатов для основной и дополнительной модели показывает малую роль параметра ε в основной модели. Этот параметр важен только для явного сопоставления режимов эволюции с обучением и эволюции без обучения.

4 Заключение

Проведенное исследование показывает, что а) генетическая ассимиляция, б) эффект экранирования и в) значительное ускорение генетической ассимиляции и эволюционного процесса под влиянием нагрузки на обучение наблюдаются при следующих предположениях:

- 1) Каждая особь эволюционирующей популяции имеет генотип и фенотип.
- 2) Генотип и фенотип представляют собой цепочки символов одинаковой формы.
- 3) Генотипы передаются от родителей к потомкам с небольшими мутациями. Генотип особи не меняется в течение ее жизни.
- 4) Начальный фенотип особи равен ее генотипу.
- 5) Имеется определенная оптимальная цепочка символов, которая ищется в процессе обучения и эволюции.
- 6) Фенотип существенно модифицируется путем обучения в течение жизни особи. В процессе обучения фенотип приближается к оптимальной цепочке.
- 7) Отбор особей в новое поколение определяется конечными фенотипами особей.

Литература

- [1] G.E. Hinton, S.J. Nowlan. How learning can guide evolution. *Complex Systems*. V. 1. No. 3. P. 495-502. 1987.
- [2] G. Mayley. Guiding or hiding: Explorations into the effects of learning on the rate of evolution. In *Proceedings of the Fourth European Conference on Artificial Life (ECAL 97)*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. 1997. P. 135-144.
- [3] В.Г. Редько. Модель взаимодействия между обучением и эволюционной оптимизацией. *Математическая биология и биоинформатика*. Т.7. № 2. С. 676-691. 2012. http://www.matbio.org/2012/Redko_7_676.pdf
- [4] М. Эйген. *Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул*. М.: Мир, 1973.
- [5] М. Эйген, П. Шустер. *Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул*. М.: Мир, 1982.