

# Выбор вспомогательных оптимизируемых величин для ускорения процесса оптимизации с помощью машинного обучения

Афанасьева А. С.  
Научный руководитель Буздалов М. В.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский  
университет информационных технологий, механики и оптики

21 июня 2012 г.

Выбор вспомо-  
гательных  
величин. . .

А. Афанасьева

Описание  
задачи

Постановка  
задачи

Требования к  
решению  
поставленной  
задачи

Описание  
применяемого  
подхода

Обучение с  
подкреплением  
Описание  
разработанного  
метода

Результаты  
применения  
метода

Динамический  
выбор функций  
приспособлен-  
ности

Игнорирование  
мешающих ФП

Результаты  
решения задачи  
H-IGF

Сравнение с  
многокритери-  
альной  
оптимизацией

Заключение

## Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

## Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением

Описание разработанного метода

## Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

## Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

## Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

## Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

## Заключение

# Постановка задачи

- ▶ Рассмотрим скалярную оптимизацию с применением эволюционных алгоритмов (ЭА).
- ▶ Задача оптимизации: максимизировать **целевую** функцию приспособленности (ФП).

$$g(x) \rightarrow \max_{x \in X}, g : W \rightarrow \mathbb{R}, X \subseteq W$$

- ▶ Пусть существует набор **вспомогательных** ФП, свойства которых заранее не известны.

$$H = \{h_i(x)\}_{i=1}^k, h_i : W \rightarrow \mathbb{R}.$$

- ▶ Цель исследований: разработка метода повышения эффективности скалярной оптимизации с использованием вспомогательных ФП.

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IFP

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Требования к решению поставленной задачи

- ▶ Эффективность работы ЭА, к которому применен разрабатываемый метод  $\geq$  эффективности работы того же ЭА при использовании только целевой ФП.
- ▶ При наличии вспомогательной ФП, оптимизация по которой приводит к более быстрому росту целевой ФП, эффективность метода  $>$  эффективности ЭА
- ▶ Метод должен обладать способностью переключаться с одной ФП на другую, если в процессе оптимизации первая из них перестает быть эффективной.

Выбор вспомогательных величин. . .

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IGF  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

## Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

## Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением

Описание разработанного метода

## Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

## Описание задачи

Постановка  
задачи

Требования к  
решению  
поставленной  
задачи

## Описание применяемого подхода

Обучение с  
подкреплением  
Описание  
разработанного  
метода

## Результаты применения метода

Динамический  
выбор функций  
приспособлен-  
ности

Игнорирование  
мешающих ФП

Результаты  
решения задачи  
H-IFF

Сравнение с  
многокритери-  
альной  
оптимизацией

# Обучение с подкреплением

- ▶ Модель обучения с подкреплением:
  - ▶ множество состояний среды  $S$
  - ▶ множество действий агента  $A$
  - ▶ награда  $R : S \times A \rightarrow \mathbb{R}$
- ▶ Требуется максимизировать суммарную награду:

$$E\left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t, a_t)\right] \rightarrow \max$$

- ▶ Доказана сходимость к оптимальной стратегии максимизации награды



Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IFF  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Описание метода

Настройка эволюционного алгоритма (Evolutionary Algorithm, EA) с помощью обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL).

Метод EA + RL:

- ▶ агент выбирает функцию приспособленности
- ▶ формируется следующее поколение
- ▶ возвращается награда, равная приращению целевой ФП



Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи N-IFF  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

## Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

## Описание задачи

Постановка  
задачи

Требования к  
решению  
поставленной  
задачи

## Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением

Описание разработанного метода

## Описание применяемого подхода

Обучение с  
подкреплением  
Описание  
разработанного  
метода

## Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

## Результаты применения метода

Динамический  
выбор функций  
приспособлен-  
ности

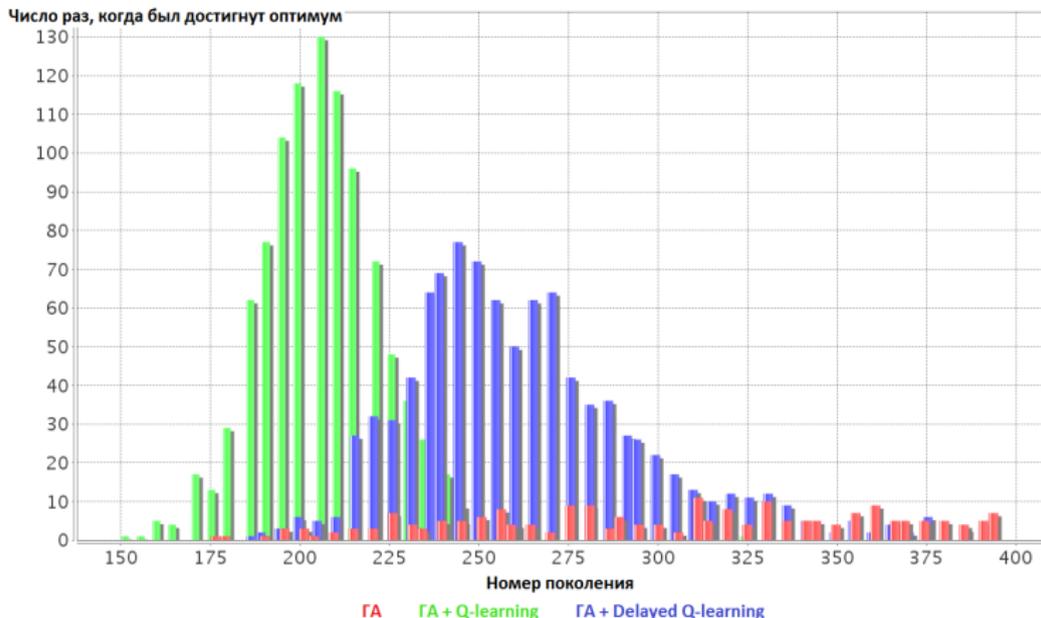
Игнорирование  
мешающих ФП

Результаты  
решения задачи  
H-IFF

Сравнение с  
многокритери-  
альной  
оптимизацией

# Динамический выбор функций приспособленности

- ▶  $g = \lfloor \frac{x}{k} \rfloor$  — целевая функция приспособленности
- ▶  $h_1 = \min(x, p), h_2 = \max(x, p)$  — вспомогательные



Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи Н-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Игнорирование мешающих функций приспособленности

- ▶ Особь эволюционного алгоритма: строка длины  $n$
- ▶ Целевая ФП: число заполненных блоков длины  $k$ ,



Пример:  $n = 12, k = 4$

- ▶ Мешающая ФП: число нулей

Алгоритм	Среднее число шагов
EA + RL (1)	6813
(1 + 1) ЭС без мешающей ФП	6913
EA + RL (2)	> 500000

**Таблица:** Результаты эксперимента. EA + RL — разработанный метод, (1) — с больцмановским исследованием, (2) — со случайным; ЭС — эволюционная стратегия

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

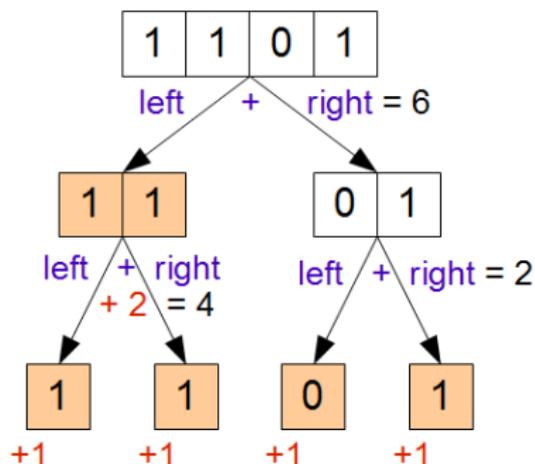
Результаты решения задачи N-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Модельная задача H-IFF

- ▶ H-IFF — Hierarchical-if-and-only-if function
- ▶ B — битовая строка



$$f(B) = \begin{cases} 1 & \text{if } |B| = 1, \text{ else} \\ |B| + f(B_L) + f(B_R) & \text{if } \forall i\{b_i = 0\} \text{ or } \forall i\{b_i = 1\} \\ f(B_L) + f(B_R) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

**Игнорирование мешающих ФП**

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Результаты решения задачи H-IFF

- ▶ Длина особи 64 бит,  $f_{\max} = 448$
- ▶ Целевая ФП: H-IFF
- ▶ Вспомогательные ФП:
  - ▶ Длина блоков из нулей
  - ▶ Длина блоков из единиц

Алгоритм	f в среднем	$\sigma$	% успешных запусков
EA + RL	448	0	100%
(1 + 5) ЭС	178	17	0%

**Таблица:** Результаты эксперимента. EA + RL — разработанный метод, ЭС — эволюционная стратегия

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

**Результаты решения задачи H-IFF**

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Сравнение с методами многокритериальной оптимизации

Модельная задача H-IFF

Алгоритм	Усредненная $f$	$\sigma$	% успешных запусков
EA + RL	448	0	100%
PESA-II	448	0	100%
PAES	418	51	74%

**Таблица:** Результаты решения модельной задачи. EA + RL — разработанный метод, PESA-II, PAES — алгоритмы многокритериальной оптимизации

Мешающая ФП — число совпадений с маской 1010...10

Алгоритм	$f$ в среднем	$\sigma$	% успешных запусков
EA + RL	440	36	92%
PESA-II	278	20	0%

**Таблица:** Результаты решения задачи с мешающей ФП

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи

Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением

Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности

Игнорирование мешающих ФП

Результаты решения задачи H-IFF

Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Заключение

- ▶ Разработан метод автоматического повышения эффективности скалярной оптимизации
- ▶ Метод позволяет использовать набор вспомогательных критериев с заранее не известными свойствами
- ▶ На ряде модельных задач показаны следующие особенности метода:
  - ▶ динамический выбор наиболее выгодных ФП
  - ▶ значительное повышение эффективности эволюционной стратегии
  - ▶ получение идеальных особей несмотря на наличие мешающих ФП
  - ▶ превосходство над алгоритмами многокритериальной оптимизации
- ▶ Показана применимость обучения с подкреплением к настройке эволюционных алгоритмов

Выбор вспомогательных величин. . .

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IGF  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Публикации и участие в конференциях

- ▶ Афанасьева А.С., Буздалов М.В. Выбор функции приспособленности особей генетического алгоритма с помощью обучения с подкреплением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. №1(77), с. 77-81.
- ▶ Afanasyeva A., Buzdalov M. Choosing Best Fitness Function with Reinforcement Learning / Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2011, Honolulu, HI, USA, 18-21 December 2011. IEEE Computer Society, 2011. Vol. 2. P. 354–357.
- ▶ Афанасьева А.С. Выбор функции приспособленности особей генетического алгоритма с помощью обучения с подкреплением / Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. — СПб: НИУ ИТМО, 2012. — 246 с.
- ▶ Афанасьева А.С. Выбор функции приспособленности особей эволюционного алгоритма с помощью обучения с подкреплением / Всероссийская научная конференция по проблемам информатики СПИСОК-2012.

Выбор вспомогательных величин...

А. Афанасьева

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IFF  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

Заключение

# Спасибо за внимание! Вопросы?

Выбор вспомогательных величин...

**А. Афанасьева**

Описание задачи

Постановка задачи  
Требования к решению поставленной задачи

Описание применяемого подхода

Обучение с подкреплением  
Описание разработанного метода

Результаты применения метода

Динамический выбор функций приспособленности  
Игнорирование мешающих ФП  
Результаты решения задачи H-IFP  
Сравнение с многокритериальной оптимизацией

**Заключение**