

# Квалиметрия метода эволюционного морфинга

В.И. Протасов

Институт физико-технической информатики, Протвино.

protonus@yandex.ru

## Аннотация

Разработана технология измерения точности составления субъективного портрета (фоторобота) с использованием эволюционного морфинга. В ней используется методика измерения способностей свидетелей к распознаванию лиц и составлению субъективного портрета.

**Ключевые слова:** Генетические алгоритмы, субъективный портрет, эксперт, популяция решений, квалиметрия, точность, способности человека, виртуальный эксперт.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Составление субъективного портрета (фоторобота) одиночным свидетелем или группой свидетелей является сложной задачей с непредсказуемыми результатами. Проблема, ввиду ее чрезвычайной важности в криминалистике, имеет давнюю историю и обширную библиографию. В настоящее время в практике составления субъективных портретов широко применяются трехмерные компьютерные модели человеческих лиц [1-2]. Непосредственное использование графических редакторов человеческих лиц, как и полицейских художников, помогающих свидетелям фиксировать образы преступников, не всегда позволяет получать достоверные портреты. Это связано с тем, что люди, как правило, являются плохими художниками. Метод эволюционного морфинга, когда свидетели (свидетель) работают с популяцией 3D образов, используя отбор, скрещивание и мутацию сгенерированных ими образов первого и последующих поколений, дает существенно лучшие результаты [3-6]. Это объясняется тем, что в последнем случае используются отличные способности людей к распознаванию ранее виденных ими людей. Эволюционный морфинг, использующий даже не очень точные первые приближения, помогает «вырастить» популяцию образов, похожих на исходный. Возникает вопрос об измерении степени этого соответствия. Необходимо выработать процедуру, позволяющую сравнивать различные методики составления субъективных портретов.

Известно высказывание, принадлежащее Д.И. Менделееву: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры». Для измерения способностей человека к какому-либо виду деятельности применяют обычно специальные тесты, либо он сдает квалификационные экзамены. Оба способа обладают субъективизмом, поскольку тесты, составленные разными экспертами, дают различные результаты. Для получения доказательных утверждений в нашем случае необходимо, следовательно, получение достоверных, числовых измерений результатов составления субъективных портретов. Эти измерения могут быть использованы в дальнейшем для улучшения характеристик и эффективности применяемых методов.

## 2. МОДЕЛЬ ВИРТУАЛЬНОГО СВИДЕТЕЛЯ

В настоящей работе предпринята попытка осуществить квалиметрию процесса составления субъективного портрета коллективом или одиночным свидетелем с использованием технологии эволюционного морфинга. Для достижения этой цели необходимо было разработать модель виртуального свидетеля. Модель должна полностью замещать реального свидетеля таким образом, чтобы результаты деятельности виртуального свидетеля были неотличимы от результатов деятельности реального свидетеля с такими же числовыми характеристиками. По сути, должен быть сформирован искусственный интеллект, заменяющий реального свидетеля для целей тестирования метода и измерений.

Виртуальный свидетель представляет собой программу, содержащую ряд параметров, характеризующих основные свойства реального свидетеля, пытающегося восстановить и зафиксировать портрет ранее виденного им человека. В первом приближении эти свойства можно описать тремя параметрами. К ним относятся величина  $K_a$ , характеризующая способности свидетеля, как художника и величины  $K_0$  и  $\alpha$ , описанные ниже и характеризующие способности свидетеля к распознаванию лиц. Образ лица, «вспоминаемого» виртуальным свидетелем, моделируется набором  $n$  относительных величин  $G_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ . Эти величины однозначно определяют трехмерное изображение лица в виде полигональной модели. Так, в применяемой нами программе FaceGenModeller [7], для описания симметричного лица без текстуры  $n=50$ . Если мы ставим перед виртуальным свидетелем задачу: по хранящемуся у него образу «нарисовать» трехмерный портрет лица, характеризующегося вектором  $G_i$ , то программа, моделирующая виртуального свидетеля, восстановит искаженный вектор-образ  $U_i$  этого лица по формуле

$$U_i = G_i[1 + K_a \chi(1 - 2\xi)] \quad (1),$$

где  $\chi$  и  $\xi$  - случайные числа от 0 до 1. Случайное число  $\chi$  обеспечивает особенность свидетеля каждый раз рисовать разные портреты, отличающиеся от оригинала, но с постоянным, характеризующим данного свидетеля коэффициентом сходства.

Эксперименты показали, что такая модель достаточно реалистично описывает художественные способности человека. Так, при  $K_a = 0$  мы имеем идеального художника, с ростом же этой величины художественные способности падают. На рис. 2 приведены портреты, «нарисованные» виртуальными свидетелями с разными художественными способностями.

Для оценки качества «нарисованного» портрета введем два коэффициента  $K_R$  и  $K_S$  следующим образом

$$K_R = \frac{1}{n(G_{\max} - G_{\min})} \sum_{i=1}^n |U_i - G_i| \quad (2),$$

здесь  $K_R$  - коэффициент различия двух портретов,  $G_{\max}$  - максимальное и  $G_{\min}$  - минимальное из возможных значений вектора  $G_i$ ,

$$K_S = 1 - K_R \quad (3),$$

$K_S$  - коэффициент сходства.

Величины коэффициентов  $K_R$  и  $K_S$ , как видно из формул (2) и (3), расположены между 0 и 1. Из анализа модельных экспериментов, между величинами  $K_R$  и  $K_a$  существует прямая пропорциональная зависимость

$$K_R = K_a / b \quad (4),$$

где  $1/b$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от диапазона значений компонент вектора  $G_i$ .

По аналогии с коэффициентом художественных способностей вводится коэффициент способности свидетеля к распознаванию лиц  $K_0$ . Этот коэффициент определяется из эксперимента по распознаванию свидетелем ряда сгенерированных программой лиц, в разной степени похожих на искомое. Свидетель выбирает из этой серии наиболее похожее, по его мнению, лицо. Поскольку программе известно значение коэффициента различия, то после серии таких экспериментов, программа рассчитывает среднее значение этого коэффициента. Это среднее значение и характеризует способность свидетеля, как распознавателя.

Процедура определения коэффициента способности свидетеля к распознаванию лиц  $K_0$  осуществляется

следующим образом. Программа генерирует две серии портретов с различными значениями величины  $K_a$ ,

отличающимися в друг от друга в два раза. Допустим  $K_a=0.1$  и  $0.2$ . Если свидетель выбирает из этой серии портрет с  $K_a=0.1$ , то в следующей серии ему будут предложены две серии с  $K_a=0.08$  и  $0.06$ . Если же он выберет в качестве наилучшего портрета портрет с  $0.1 < K_a < 0.2$ , то ему будет предложена серия с  $K_a=0.14$  и  $0.18$ . При выборе  $K_a=0.2$ , ему предложат серию с

$K_a=0.24$  и  $0.28$ . Методом последовательных приближений может быть определено более точное значение этой величины и после ее усреднения на различных лицах, выносится заключение о способности свидетеля к распознаванию лиц.

Величина  $K_0$  рассчитывается по формуле.

$$K_0 = 1 - K_{acp} / b, \quad (5)$$

где  $K_{acp}$  - усредненное значение  $K_a$ .

При длительных экспериментах, когда перед свидетелем проходит большая совокупность распознаваемых лиц (эта ситуация характерна для работы свидетеля при составлении субъективного портрета с использованием метода эволюционного морфинга), свидетель начинает чаще ошибаться и его способность к распознаванию снижается.

Эту способность свидетеля можно охарактеризовать величиной «утомляемости»  $\alpha$ , определяемой из выражения:

$$\alpha = -\frac{1}{N} \ln \frac{K_{oN}}{K_0}, \quad (6)$$

где  $K_{oN}$  - значение коэффициента  $K_0$  после предъявления  $N$  портретов в течение одного сеанса экспериментов.

Выражение (6) получено из формулы

$$K_{oN} = K_0 e^{-\alpha N}. \quad (7)$$

Типичные значения величин коэффициентов  $K_a$ ,  $K_0$  и  $\alpha$ , полученные из экспериментов, проведенных с разными людьми, приведены в таблице 1. Таблица 1

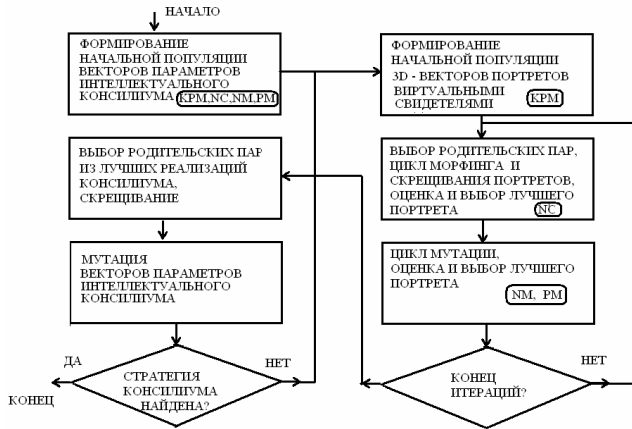
Значения коэффициентов  $K_a$ ,  $K_0$ ,  $\alpha$

Коэффициент	Минимальное Значение	Максимальное значение
$K_a$	0.02	0.3
$K_0$	0.92	0.99
$\alpha$	0.00003	0.000009

### 3. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОРФИНГА

Наряду с получением аппарата измерений креативных способностей свидетеля к процессу составления субъективного портрета, целью создания концепции виртуального свидетеля является также разработка механизма настройки параметров программы, реализующей эволюционный морфинг. Настройка параметров должна осуществляться для конкретного набора свидетелей, обладающих различными способностями. Эти способности должны быть предварительно измерены. Для оптимизации параметров интеллектуального консилиума реальные свидетели заменяются виртуальными, обладающими теми же характеристиками. Анализ задачи показывает, что оптимизируемая величина – степень соответствия составленного экспертами портрета исходному, в пространстве поиска оптимальных параметров не может быть выражена через них в явной форме. Поэтому для проведения оптимизации были выбраны генетические алгоритмы. Параметрами настройки эволюционного морфинга являются величины КРМ – число «прогонов» программы для получения установившихся значений коэффициентов сходства,  $NC$  – количество скрещенных портретов, выдаваемых программой виртуальному свидетелю для выбора,  $NM$  – количество мутированных портретов из одного выбранного портрета после

скрещивания,  $PM$  – параметр мутации, или относительная величина изменения генов выбранного портрета ( рис. 1).



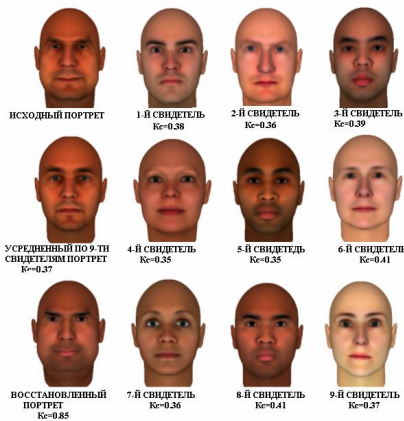
**Рис.1.** Блок-схема настройки параметров эволюционного морфинга.

Полученная процедура позволяет заменять медленно работающих реальных свидетелей виртуальными для настройки параметров интеллектуального консилиума. Если время составления одного варианта субъективного портрета реальными свидетелями составляет от получаса до полутора часов, то виртуальные эксперты имитируют составление портрета за доли секунды

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проверки модели виртуального свидетеля и настройки параметров были проведены следующие эксперименты.

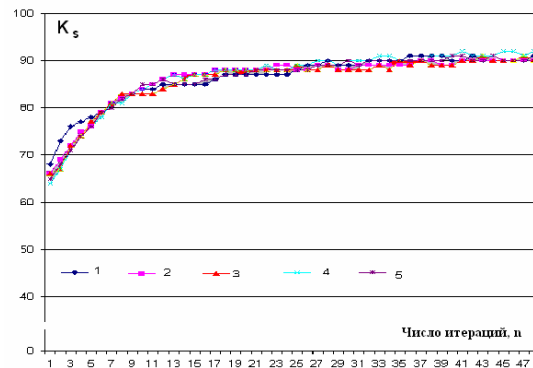
В первой группе экспериментов была проведена проверка сходимости метода эволюционного морфинга независимо от начальных условий – виртуальным свидетелям были заданы низкие коэффициенты художественных способностей. Несмотря на это, метод сошелся к восстановленному портрету с величиной коэффициента сходства 0.85 ( рис.2)



**Рис. 2.** Результаты эксперимента по проверке сходимости метода эволюционного морфинга независимо от качества начального приближения.

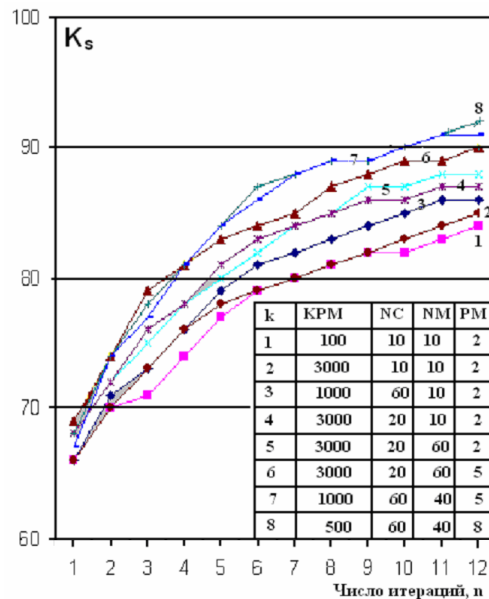
На рис. 3 приведены результаты сходимости метода для группы из девяти виртуальных свидетелей при пяти различных начальных приближениях. Несмотря на то, что

коллективы виртуальных свидетелей «стартовали» из различных начальных популяций портретов, они приходили к высоким коэффициентам сходства восстановленного портрета с исходным.



**Рис. 3.** Сходимость метода эволюционного морфинга

Во второй группе экспериментов с виртуальными свидетелями осуществлялась проверка влияния параметров настройки эволюционного морфинга на качество восстанавливаемого портрета. Для данного коллектива из девяти виртуальных свидетелей с известными параметрами  $K_a$ ,  $K_0$  и  $\alpha$  было испытано 8 различных вариантов составления портретов для различных наборов параметров эволюционного морфинга KPM, NC, NM и PM. Результаты экспериментов приведены на рис.4. Видно, что наблюдается значительное влияние параметров эволюционного морфинга на конечный результат распознавания и, следовательно, является доказанной необходимость предварительной настройки параметров метода для получения лучшего качества составления субъективного портрета.



**Рис. 4.** Влияние параметров настройки эволюционного морфинга на результаты составления субъективного портрета коллективом виртуальных свидетелей.

Проведенные эксперименты позволили сформулировать правила настройки параметров метода составления субъективного портрета в следующем виде.

Свидетели тестируются для определения численных значений их способностей. Им предъявляются тестовые примеры, при работе над которыми измеряются значения их художественных и распознавательных способностей. На этой стадии может происходить отсев свидетелей, обладающих низкими результатами работы по составлению портретов. Далее эти параметры вводятся в программу настройки параметров эволюционного морфинга, и программа работает с виртуальными свидетелями, обладающими свойствами реальных. Для этого коллектива программа настраивает свои параметры, и свидетели могут приступать к работе по составлению искомого портрета. В соответствии с этими правилами был организован эксперимент с участием пяти свидетелей. Вначале они были протестированы по приведенной выше методике. Способности свидетелей характеризовались параметрами  $0.03 < K_a < 0.12$ ,

$0.93 < K_0 < 0.98$  и  $0.00004 < \alpha < 0.00007$ . Затем, после двухчасового перерыва им на непродолжительное время были предъявлены фотографии фас и профиль неизвестного им лица (рис. 5 а). Далее они с использованием методики интеллектуального консилиума составляли субъективный портрет. Усредненный результат по пяти свидетелям после первой итерации приведен на рис. 5 б). На рис. 5 в) приведены результаты составления субъективного портрета этой группой. Для составления субъективного портрета с  $K_s = 0.92$  потребовалось всего 6 итераций.

Виртуальным свидетелям с характеристиками реальных свидетелей был предъявлен для «запоминания» и последующего составления портрет, восстановленный реальными свидетелями. Эксперименты показали, что разброс величин  $K_s$  от 0.89 до 0.93, полученный при этих экспериментах (их было проведено 200), хорошо коррелирует с величиной  $K_s$ , полученной для коллектива реальных свидетелей. Число итераций от 6 до 7, полученных в группе контрольных экспериментов также хорошо коррелирует со случаем реальных экспертов.



а) исходный б) усредненный в) составленный портрет

Рис. 5. Результаты составления субъективного портрета группой из пяти свидетелей

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Метод эволюционного морфинга, описанный в [3-4], отличается от предложенного нами в том, что там свидетели работают поодиночке, и в качестве окончательного результата используется усредненный портрет. В нашем случае свидетели работают над портретом синхронно, обмениваясь своими вариантами, вследствие чего возникает синергетический эффект усиления интеллекта и результаты составления субъективного портрета обладают большей точностью. С использованием коллектива виртуальных свидетелей была проведена сравнительная проверка нашего метода и метода, описанного в [4]. Для случая, приведенного выше, величина коэффициента сходства  $K_s$  у нас составляла 0.92, для метода, описанного в [4],  $K_s = 0.86$ . Эксперименты с различными коллективами виртуальных свидетелей и исходными портретами показали, что коэффициенты сходства у метода [4] лучше, как и следовало ожидать, чем усредненные коэффициенты у нас после первой итерации, но всегда хуже, чем в нашем методе после шести итераций.

Итак, можно считать достоинством метода настраиваемого эволюционного морфинга то, что при составлении субъективного портрета мы можем получить квалитетические характеристики как самого метода, так и его результатов. С использованием концепции виртуальных свидетелей мы можем также сравнивать различные методы составления субъективных портретов по точности.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были сделаны следующие выводы:

- Получены модельные методики для определения способностей свидетелей к рисованию портретов.
- Получены методики для определения способностей свидетелей к распознаванию лиц и коэффициентов утомляемости при длительной работе.
- Разработанная модель виртуального свидетеля может применяться для экспериментов по отладке перспективных схем составления субъективного портрета.
- Достоинством метода настраиваемого эволюционного морфинга является то, что при составлении субъективного портрета мы можем получить квалитетические характеристики, как самого метода, так и его результатов.

Работа выполнена по гранту РФФИ 08-07-00447а «Разработка и исследование методов оценки достоверности результатов восстановления объемных фотороботов на основе общедоступных установок виртуальной реальности».

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kovera M.B., Penrod S.D., Pappas C. & Thill D.L. *Identification of computer generated facial composites*. Journal of Applied Psychology, 82, 235-246, 1997.
- [2] Mcquiston-Surrett D., Topp L. D., & Malpass R. S. *Use of facial composite systems in U.S. law enforcement agencies*. Psychology, Crime and Law, 12, 505-517, 2006.

[3] Hancock P.J.B. *Evolving faces from principal components*. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 32 (2), 327-332, 2000.

[4] Frowd C.D., Hancock P.J.B., & Carson D. *EvoFIT: A Holistic, Evolutionary Facial Identification Technique for Creating Composites*. *Association for Computing Machinery Transactions on Applied Psychology*, 1 (1), 1-21, 2004.

[5] В.И. Протасов, Ю.Ю. Здоровеюшев, Д.С. Панфилов. *Об одном методе коллективного принятия решений при построении фоторобота*. Труды международной научно-технической конференции «Интеллектуальные многопроцессорные системы ИМС-99», Таганрог, 222-225, 1999.

[6] В.И. Протасов, А.А. Дружинин, Л.В. Михайлов. *Методика восстановления субъективного портрета коллективом свидетелей с использованием 3D-морфинга*. Программные продукты и системы, Тверь, 1(77), 21-24, 2007.

[7] FacegenModeller 3.1.

<http://www.facegen.com/modeller.htm>

## **Автор**

В.И. Протасов, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института физико-технической информатики, Протвино, Московская обл.

Email: [protonus@yandex.ru](mailto:protonus@yandex.ru)