

## УЧ ЎЛЧАМЛИ ЮЗ МОДЕЛЛАРИНИ ҚУРИШ АЛГОРИТМЛАРИ

*С.С.Бекназарова - Техника фанлари доктори, профессор,  
Мухаммад ал Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари  
университети*

*Н.Ю.Халикова - Ассистент ўқитувчи,  
University of management and future technologies*

Ушбу мақолада юз уч ўлчамли моделини қуришда фаол шакл моделлари (Active Shape Models – ASM) ва фаол ташқи кўриниш моделларини (Active Appearance Model – AAM) қўллаш масалалари ёритилган. Алгоритмларни таҳлил қилиш жараёнида уларни ҳозирги кунда кўп қўлланадиган юз тасвири бўйича шахсни таниб олиш алгоритмларига нисбатан афзал ва камчиликлари, уч ўлчамли юз тасвири моделларни қуриш босқичлари, усуллари ва ўзаро тафовутлари келтириб ўтилган.

**Калит сўзлар:** тасвирнинг уч ўлчамли модел, фаол шакл моделлари, фаол ташқи кўриниш моделлари, тасвирнинг статистик моделлари, антропометрик нуқталар, аффин алмаштиришлар.

### **Algorithms of building of three-dimensional face models**

In this article described applying Active shape models (ASM) and Active models appearance (AAM) for building three-dimensional models of the image of the face. During the analyzing we focused on stages of preparing processes, methods and differences from each other of the these algorithms.

**Keywords:** three-dimensional model of the image, Active shape models, Active appearance models, statistical models of the image, anthropometric points, affine transformation.

### **Алгоритмы построения трехмерных моделей лица**

В статье описано применение активной модели формы (Active Shape Models – ASM) и активной модели внешнего вида (Active Appearance Model – AAM) для построения трехмерных моделей лица. Приведены достоинства и недостатки этих алгоритмов, описаны этапы построения трехмерных моделей лица на их основе, а также отличие этих алгоритмов друг от друга.

**Ключевые слова:** трехмерная модель изображения, Активные модели формы, Активные модели внешнего вида, статистические модели изображения, антропометрические точки, аффинное преобразование.

Юз тасвири орқали инсон шахсини аниқлаш тимсолларни таниб олиш соҳасининг ривожланишига туртки бўлган дастлабки амалий вазифалардан бири ҳисобланади. Сўнги йилларда инсон шахсини жорий вақт режимида тез ва тўғри аниқлаш зарурияти ошиб бормоқда.

Бу йўлда икки асосий муаммога ечим топиш лозим бўлади. Булар ёруғликни нотекис тақсимланганлиги ва юзни турли ракурслардан тасвирга олинганлиги.

Ушбу муаммони ечишнинг икки усули мавжуд: эталон тимсоллар базасини турли хил ёритилган шароитларда суратга олинган тасвирлар билан бойитиш (доим ҳам буни бажариш имкони бўлавермайди), бундан ташқари таҳлил қилинаётган тимсолларни таққослашда эталон тимсолларни тасвирга олиш шартларини моделлаштириш. Иккинчи усулдан фойдаланишда юзнинг 3D моделидан фойдаланилади ва деформация қилинган уч ўлчамли тимсоллар рельефлари ва текстуралари алоҳида таққосланади. Ушбу ёндашув ракурс ва ёруғликни моделлаштиришда кенг имкониятлар тақдим этиш билан бирга маълумотлар базасида ҳар бир юз тасвирининг 3D моделини ишлаб чиқиш ва сақлаш каби қўшимча ресурс талаб қиладиган мураккаб вазифани бажариш заруриятини келтириб чиқаради.

Агар суратга олишга ёритилганлик, ёрқинлик, тасвир контрасти каби омиллар таъсир қилса, уларни ҳозирда мавжуд икки ўлчамли тасвирларга ишлов беришга мўлжалланган алгоритм ва методлар ёрдамида бартараф этиш мумкин. Лекин, таъсир этувчи омил ракурс билан боғлиқ бўлган ҳолларда, таниб олиш учун юзни уч ўлчамли модели билан ишловчи воситалардан фойдаланишга тўғри келади. Одатда жорий вақт режимида тасвирни 3D моделини яратиш катта ресурсга боғлиқ бўлган талабларни келтириб чиқарганлиги туфайли улардан фойдаланиш ҳоллари кам кузатилади.

Дастлаб маълум методлар Deformable Face Models (DFM), Active Shape Models (ASM), Active Appearance Model (AAM) ва тасвирларда аффин алмаштиришлар каби методлар ёрдамида биометрик векторлар кластрини шакллантириш учун юз тасвирларини олишнинг алгоритми тақлиф қилинган. Шунингдек, ушбу гипотеза мавжуд икки ўлчамли таниб олиш усуллари унумдорлигини оширганлиги ҳақидаги натижалар ҳам келтирилган [1].

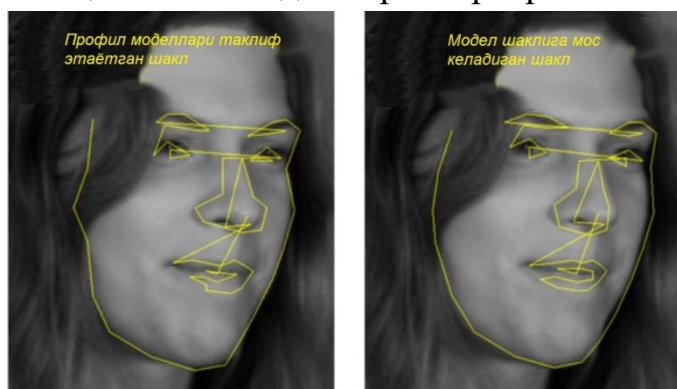
Ҳозирги кунда юз тасвирларини уч ўлчамли моделини ишлаб чиқишда фаол шакл моделлари (Active Shape Model – ASM) ва фаол ташқи кўриниш моделлари (Active Appearance Model – AAM) кенг қўлланилиб келинмоқда. Тасвир тузилмасининг шакли ва ташқи кўриниши ушбу статистик моделлар ёрдамида янги тасвир билан солиштирилади. Дастлаб объект шакли жорий ҳолатини янгилаш учун профил бўйича мавжуд модел нуқталари позициялари қидирилади. Сўнгра киритилаётган тасвирдан намуналар тўпланади ва

моделнинг ташқи кўриниши янгиланиб бориши учун модел ва намуна ўртасидаги фарқлардан фойдаланилади. Ушбу мақолада бу икки алгоритмни қўллаш усуллари ва ишлаш жараёнлари ёритилган.

Ташқи кўриниши ўзгарувчан бўлган объектларни ўз ичига олган тасвирларни интерпретация қилиш бир қадар мушкул вазифа ҳисобланади. Қулай ёндашув эса барча объектларининг шакли ва (ёки) текстураси деформацияланадиган моделлардан фойдаланиш ҳисобланади. Фаол шакл моделлари шаклнинг статистик модели билан чегараланган соҳасида моделдаги нуқталар тўпламини тасвир билан солиштирса, фаол ташқи кўриниш моделлари моделдаги нуқталар позициялари билан бирга берилган объект текстурасини тасвир билан солиштиради [2].

**Active Shape Models (ASM)** – бу кириталаётган тасвир объектларига мослаштириш учун кўп маротаба деформацияланадиган шакл объектларининг статистик моделлари ҳисобланади [3]. Бу алгоритм 1995 йилда Тим Кутес ва Крис Тейлорлар томонидан ишлаб чиқилган. Модел ўқитилаётган тўплам ичидан фақатгина белгиланган намуналардагина ўзгариши учун шакллар моделнинг статистик шакли нуқталари тақсимоти (Point distribution model) алгоритми асосида чегараланади. Объект шакли модел шакли томонидан бошқариладиган нуқталар тақсимоти билан ифодаланади. Алгоритм ўзаро алтернатив икки жараённи ўз ичига олади:

- тасвирнинг ҳар бир нуқтасидан шу нуқта учун энг мос позицияни қидириш;
- топилган янги позицияга мос модел параметрларини янгилаш [4];

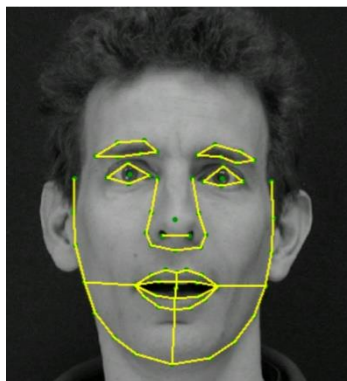


1-расм. Фаол шакл моделларини ишлаш жараёни

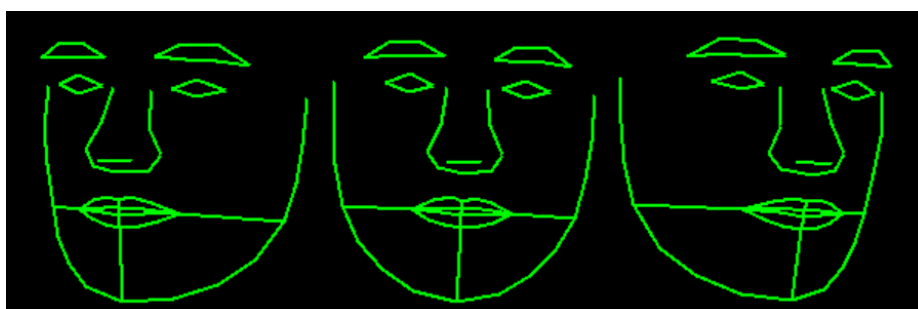
Ҳар бир нуқта учун энг яхши позицияларни топиш учун аниқ чегараларни топиш зарур бўлади ва шу йўл орқали статистик моделни шу қидирилаётган модел билан бирлаштириш мумкин. Бунинг учун энг ишончли усул Махаланобис масофаси (Mahalanobis distance) методини қўллаш ҳисобланади.

ASM методининг моҳияти антропометрик нуқталар жойлашуви ўртасидаги статистик алоқаларни ҳисоблашдан иборат. Мавжуд тўплам рўпарадан олинган юз тасвирларидан иборат бўлади. Эксперт тасвирдаги антропометрик

нуқталарни белгилаб чиқади. Ҳар бир тасвирдаги нуқталар бир хил тартибда рақамлаб чиқилади.



2-расм. Юз тасвирдан 68 та антропометрик нуқталарни белгилаб олиниши



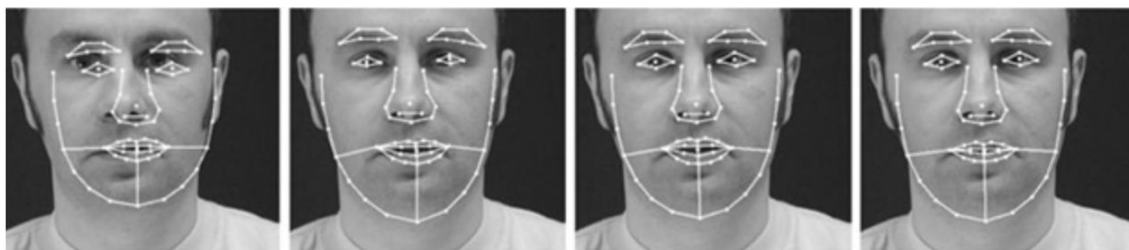
3-расм. 68 та нуқта орқали ифодаланган юз шакллари

Барча тасвирдаги координаталарни ягона тизимга умумлаштириш лозим. Бунинг учун, одатда, прокрустив таҳлил методи қўлланилади ва шу йўл орқали ҳамма нуқталар бир хил тартибда масштаблашади ва марказлашади. Шундан кейин барча тасвирлар учун ўртача шакл ва ковариацион матрица ҳисоблаб чиқилади. Ковариацион векторлар асосида хос векторлар ҳисобланади ва кейинчалик уларнинг мос келувчи хусусий қийматлари камайиш тартибида сараланади[5].

ASM модели  $\Phi$  матрица билан белгиланса ва ўртача шакл  $\bar{s}$  вектор билан белгиланса, у ҳолда барча шакллар қуйидагича модел ва параметрлар орқали ифодаланиши мумкин:

$$b_i = \Phi^T \bar{s}_i = \Phi^T (s_i - \bar{s}).$$

ASM моделини локаллаштириш янги ўқув танланмага кирмаган тасвирда оптимизация масаласини ечиш жараёнида амалга оширилади.



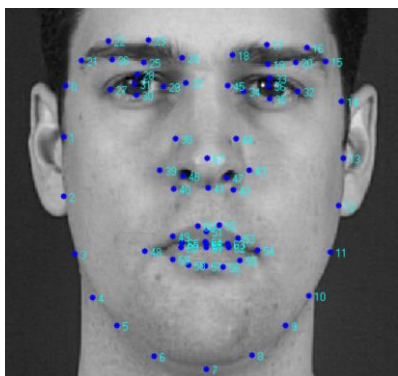
а) б) в) г)

4-расм. ASM моделини тасвирга локаллаштириш жараёни: а) бошланғич ҳолат, б) 5 итерациядан кейин, в) 10 итерациядан кейин, г) якуний ҳолат [6].

**Active Appearance Models (AAM)** - бу ҳақиқий тасвирга мослаштириш учун турли хил усулда деформацияланган тасвирнинг статистик моделларидир. Ушбу модел ҳам 1998 йилда Тим Кутес ва Крис Тейлорлар томонидан ишлаб чиқилган. Дастлаб ААМ фақатгина юз тасвирларини баҳолаш учун қўлланилган, кейинчалик эса бу модел бошқа соҳаларда ҳам кенг қўлланила бошланди. Масалан, тиббиётда рентген тасвирларини таҳлил қилиш, магнит резонанс-томография (МРТ) натижаларини олиш учун ҳам қўлланилмоқда.

Ўтган йиллар давомида фаол ташқи кўриниш моделлари математик аппарати бир мунча ривожланди ва ҳозирги кунда бу моделни қуришнинг классик (Тим Кутес таклиф этган усул) ва тескари композицияга асосланган (2003 йилда Мэтьюс ва Бейкерлар таклиф этган) усуллари мавжуд.

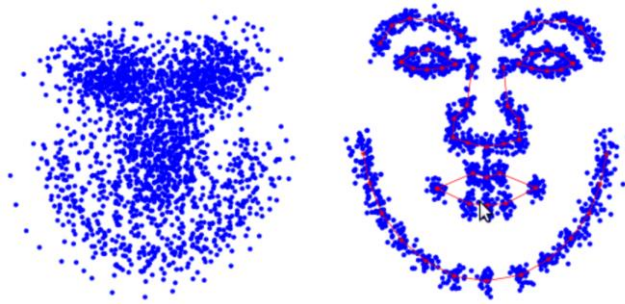
ААМ икки турдаги параметрлардан иборат бўлиб, булар: шакл билан боғлиқ параметрлар ва тасвир пикселлари ёки текстура билан боғлиқ параметрлар. Модел ишлатилишидан аввал олдиндан белгиланган тасвирлар тўпламида ўқитилиши керак бўлади. Тасвирларни белгилаш икки хил механик ва яримавтомат режимда белгиланиши мумкин. Ҳар бир белги ўз рақамига эга бўлади ва янги моделга мослаштирилган моделни топиш керак бўлган характерли нуқтани аниқлайди.



5-расм. ААМ шаклини ҳосил қилиш учун 68 нуқта орқали белгиланган юз тасвири

ААМ ни ўқитиш жараёни масштаблар, ўлчамлар ва алмаштиришлар фарқларини бартараф этиш мақсадида формани белгиланган тасвирга

мослаштиришдан бошланади. Бу жараёни амалга оширишда ҳам Прокрустов таҳлил методини қўллаш тавсия этилади.

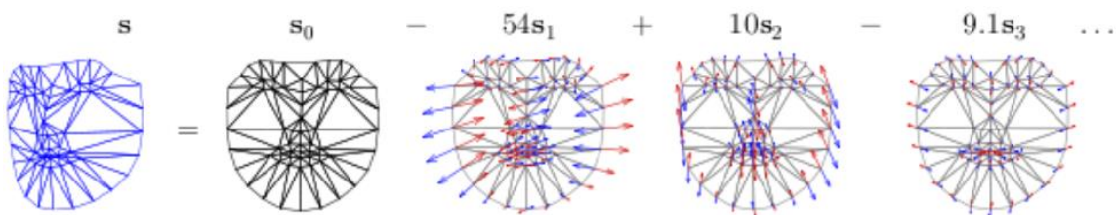


6-расм. Нормаллаштирилгунча ва ундан кейинги ҳолатда шаклнинг нуқталари ҳолатлари

Барча нормаллашган нуқталар тўпламидан бош компоненталар усули ёрдамида асосий компоненталар танлаб олинади. Кейин барча шакллар нормаллашгандан кейин шакл нуқталаридан таркиб топган учбурчак ичидаги пикселлардан матрица ҳосил қилинади. Матрицани ҳар бир устунни мос текстура қийматларидан ифодалайди  $S = [s_1, s_2, \dots, s_m]$ , бу ерда  $s_m = [x_1^m, \dots, x_N^m, y_1^m, \dots, y_N^m]^T$  Текстуранинг ўқитишда бир каналли (кулранг) ёки, кўп каналли (масалан RGB ранглар фазоси) усуллардан фойдаланиш мумкин. Кўп каналли текстураларда пиксел векторлари ҳар бир канал бўйича алоҳида шакллантирилади, кейин улар бирлаштирилади. Кўрсатилган матрицасидаги бош компоненталар танлангач синтезланган шакл учун қуйидаги ифодани топамиз:

$$s = s_0 + \Phi_s b_s.$$

Бу ерда  $s_0$  – барча ўқув танланмаларнинг ўртача намунаси,  $\Phi_s$  – бош векторлар матрицаси,  $b_s$  – шакл параметрлари. Юқоридаги ифода шуни кўрсатадики,  $s$  форма  $s_0$  таянч форма ва  $\Phi_s$  матрицада мавжуд хос векторлар чизиқли комбинациялари йиғиндиси орқали топилади.  $b_s$  вектор параметрининг ўзгартириш орқали ҳақиқий тасвирга яқинлаштириш учун турли хил деформацияланган шаклларни олишимиз мумкин.



7-расм. Шакл параметрлари вектори

Шуни таъкидлаш керакки фаол ташқи кўриниш моделлари қатъий ва ноқатъий деформацияланган турларга ажратилади. Қатъий деформацияланган

моделлар аффин алмаштиришлар орқали (буриш, силжитиш, масштаблаштириш) орқали амалга оширилса, ноқатъий деформацияланган моделларда эса аффин алмаштиришлардан ташқари жойлашув параметрлари (буриш бурчаги, масштаб, силжиш ёки аффин алмаштиришлари коэффицентлари) ҳам қўлланилади [8].

Иккала алгоритм ҳам берилган объект шаклининг базавий статистик моделидан фойдаланади. Бу шаклга белгилар мажмуидан фойдаланиш ва белгиланган тасвирлар тўпламидан шакл ўзгаришлари оралиғини ифодалаш имконини беради [3].

ASM модел нуқталарини янги тасвир билан Expectation Maximisation алгоритминини қўллайдиган итератив технологиялардан фойдаланган ҳолда солиштиради. Ҳар бир нуқтанинг жорий позицияси атрофида текстура моделига мос келадиган энг яқин нуқтани топиш учун қидирув олиб борилади. Кейин нуқталар позицияларини назорат қилувчи шакл модели параметрлари модел нуқталари тасвирдан топилган нуқтага яқинлаштириш учун янгиланади.

AAM ни афзал томонларидан бири нисбатан кам сондаги белгилардан ҳам ишончли модел кура олади. Ҳар қандай қўшимча шакл ўзгаришлари модел текстурасининг қўшимча режимларида ифодаланади. ASM га қидирувни кейинги йўналишини аниқлаш учун чегара атрофидаги нуқталар зарур бўлади.

AAM шакл ўзгариши ва модел билан қопланган ҳудуд текстура соҳасини ифодаловчи тўлиқ ташқи кўринишни манипуляция қилади. Бу моделлаштирилган объектларни барча синтетик тасвирларини генерация қилишда қўлланилади. AAM параметрларини янгилаш учун синтез қилинаётган тасвир билан киритилган тасвир ўртасидаги фарқни таққослаб боради.

Қуйида ушбу икки алгоритмлар ўртасидаги асосий фарқлар келтирилган:

- ASM тасвир текстураси моделларини фақат ҳар бир белгиланган нуқта атрофидаги кичик ҳудудларда қўллайди. AAM эса тўлиқ ҳудуд ташқи кўриниш моделини қўллайди (одатда нуқта атрофидаги қабарик соҳаларда);

- ASM одатда жорий ҳолат атрофида чегарага перпендикуляр профиллар бўйлаб қидирув амалга оширса, AAM эса фақат жорий ҳолат остидаги тасвир танланмалари бўйича қидиради;

- ASM моделдаги нуқталар ва тасвирда топилган шу нуқталарга мос келадиган нуқталар ўртасидаги фарқни камайтиришга ҳаракат қилса, AAM ҳосил қилинган модел тасвири ва киритилган тасвир ўртасидаги фарқларни қисқартиришга ҳаракат қилади [2].

### **Хулоса**

Юқорида баён этилган иккала алгоритмларни қўллашдан асосий мақсад таниб олиш эмас балки, тасвирларда кейинги қайта ишлаш амалларини бажариш

учун юз соҳасини ва антропометрик нуқталарни тўғри жойлаштиришдан иборат. Деярли барча алгоритмларни қўллашда мажбурий бўлган кадам бу турли ҳалатда олинган юз тасвирни фронтал позицияга келтириш ёки юзлардан таркиб топган тўпламдаги тасвирларни ягона кординаталар тизимига келтириш ҳисобланади. Буни амални энг самарали амалга ошириш учун барча юзлардаги антропометрик нуқталарни тасвирга локализация қилиш лозим. Бунинг учун аксарият ҳолларда кўз қорачиғлари маказлари ва кўз бурчакларидан фойдаланилади. Жорий вақт режимида ишловчи тизимларда ҳисоблаш ишларини камайтириш мақсадида 10 тадан кўп бўлмаган нуқталар белгиланади. ASM ва AAM моделлари антропометрик нуқталарни тасвирларга локаллаштиришда энг қулай восита ҳисобланади.

### **Фойдаланилган адабиётлар**

1. С.Г. Небаба, А.А. Захарова Алгоритм построения деформируемых 3d моделей лица и обоснование его применимости в системах распознавания личности //SPIRAS Proceedings, 2017 – С. 157-179.
2. T.F. Cootes, G. Edwards and C.J. Taylor, Comparing Active Shape Models with Active Appearance Models, <https://www.researchgate.net/publication/221259802>.
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_shape\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Active_shape_model).
4. T. F. Cootes and C. J. Taylor. Combining point distribution models with shape models based on finite-element analysis. // Image and Vision Computing, 1995.13(5):403-409.
5. T.F. Cootes and C.J. Taylor and D.H. Cooper and J. Graham, Active shape models - their training and application //Computer Vision and Image Understanding, 1995, – Pp 38–59.
6. Thai Hoang Le, Truong Nhat Vo. Face Alignment using active shape model and support vector machine //International journal of biometrics and bioinformatics, (IJBB), Volume (4): Issue (6), – Pp 224-234.
7. <https://sohabr.net/habr/post/238129/>.
8. <https://habr.com/ru/post/155759/>.