SINTA Journal – *Science, Technology and Agriculture Journal*
Available online at : ***http://journal.pdmbengkulu.org/index.php/sinta***
DOI:https://doi.org/10.37638/sinta.5.1.73-82

Optimasi Representasi Anatomi Otot Wajah dalam Ekspresi Animasi 3D

Optimizing the Representation of Facial Muscle Anatomy in 3D Animation Expressions

Imam Ainudin Pirmansah[1)]; Ahmad Zaid Rahman*[2)]; Dhimas Adi Satria[3)]
[1,2,3]Department of Information Technology, Faculty Of Computer Science, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

Email: [1)] imam.af@amikom.ac.id; [2)] ahmad.zaid@amikom.ac.id; [3)] dhimas@amikom.ac.id

How to Cite :
Pirmansah, I.A., Rahman, A.Z., Satria, D.A. (2024). Optimizing the Representation of Facial Muscle Anatomy in 3D Animation Expressions. *SINTA Journal (Science, Technology, and Agricultural)*, 5 (1), 73-82. DOI: https://doi.org/10.37638/sinta.5.1.73-82

ARTICLE HISTORY
Received [14 May 2024]
Revised [23 May 2024]
Accepted [13 June 2024]

KEYWORDS
3d animation, Facial Expression, joint-based, blendshape, facial rig.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan representasi anatomi otot wajah dalam ekspresi animasi 3D dengan menggunakan pendekatan hybrid yang menggabungkan teknik blendshape dan joint-based rigging serta sistem kontrol canggih. Blendshape digunakan untuk menangkap detail halus dan nuansa ekspresi wajah, sementara joint-based rigging memberikan fleksibilitas tambahan untuk gerakan yang lebih luas dan dinamis. Sistem kontrol yang diterapkan memungkinkan manipulasi yang presisi dan interaktif dari berbagai ekspresi wajah, menghasilkan deformasi wajah yang lebih realistis dan alami. Metodologi penelitian mencakup pengembangan model wajah dengan detail anatomi yang akurat, diikuti dengan implementasi rig hybrid yang menggabungkan blendshape dan joint-based rigging. Sistem kontrol dibangun menggunakan teknik node connector, yang memungkinkan pengaturan granular dari parameter ekspresi dan deformasi wajah. Validasi dilakukan melalui uji coba ekstensif dengan berbagai ekspresi wajah untuk menilai keakuratan dan realisme animasi yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan hybrid ini meningkatkan keakuratan dan realisme ekspresi wajah dalam animasi 3D secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Sistem kontrol yang dikembangkan juga terbukti efektif dalam memberikan fleksibilitas dan kemudahan penggunaan bagi animator. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan kontribusi penting bagi peningkatan kualitas dan efisiensi produksi animasi 3D, serta membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknik rigging dan animasi wajah.

ABSTRACT

This research aims to optimize the representation of facial muscle anatomy in 3D animated expressions by using a hybrid approach that combines blendshape and joint-based rigging techniques as well as an advanced control system. Blendshape is used to capture fine details and nuances of facial expressions, while joint-based rigging provides additional flexibility for broader, more dynamic movements.

The implemented control system allows precise and interactive manipulation of various facial expressions, resulting in more realistic and natural facial deformations. The research methodology includes the development of a facial model with accurate anatomical details, followed by the implementation of a hybrid rig that combines blendshape and joint-based rigging. The control system is built using a node connector technique, which allows granular regulation of facial expression and deformation parameters. Validation was carried out through extensive testing with various facial expressions to assess the accuracy and realism of the resulting animation. The research results show that this hybrid approach significantly increases the accuracy and realism of facial expressions in 3D animation compared to conventional methods. The control system developed also proved effective in providing flexibility and ease of use for animators. Thus, this research offers an important contribution to improving the quality and efficiency of 3D animation production, as well as opening up opportunities for further development in facial rigging and animation techniques.

PENDAHULUAN

Dalam dunia animasi 3D, penciptaan ekspresi wajah yang realistis dan ekspresif telah menjadi fokus utama. Wajah merupakan salah satu bagian tubuh manusia yang memiliki beberapa otot yang saling melekat satu sama lain dan sebagian besar tertanam dalam jaringan lemak (Nendya et al., 2021). Sampai saat ini memang belum ada ketetapan metode pasti untuk animasi wajah (Wen et al., 2022). Oleh karena itu, analisis ekspresi wajah telah menjadi bidang penelitian yang semakin penting yang dapat digunakan untuk banyak aplikasi praktis seperti interaksi manusia-mesin dan animasi wajah (Yan et al., 2019). Rig untuk animasi wajah biasanya memiliki perilaku yang jauh lebih kompleks daripada rig tubuh, dan memerlukan ketelitian tambahan karena pentingnya menyampaikan aspek komunikasi dan ekspresi (Song et al., 2020).

Anatomisasi otot wajah merupakan bagian kunci dalam mencapai tujuan ini, karena otot-otot ini berperan dalam menentukan pergerakan dan ekspresi yang kompleks pada wajah manusia (Ding et al., 2019). Pergerakan otot wajah lebih sesuai dengan aturan pergerakan otot dan menjadikan peran peran lebih jelas, menghindari kerangka wajah dalam proses deformasi masalah abnormal (Xu, 2021).

Namun, meskipun banyak penelitian telah dilakukan dalam bidang ini, masih ada tantangan yang perlu diatasi. Beberapa di antaranya termasuk meningkatkan akurasi representasi anatomi otot, mencapai transisi yang mulus antara ekspresi, dan memastikan konsistensi dalam interpretasi ekspresi yang berbeda-beda.

Facial Action Coding System atau (FACS) merupakan salah satu sistem acuan dalam penelitian ini. FACS digunakan untuk menggambarkan ekspresi wajah oleh Action Units (AUs) yang berkolerasi dengan ekspresi wajah (Ekman., 1972). Sehingga sangat berguna untuk penerapan animasi wajah secara alami. Meskipun FACS memiliki keterbatasan seperti yang ditemukan dalam penelitian(Shakir & Al-Azza, 2022) bahwasanya FACS memberikan deskripsi yang sangat konsisten untuk bagian atas wajah namun tidak untuk bagian bawah wajah. Hal ini membatasi FACS untuk menjadi metode dominan di area Animasi Wajah (Shakir & Al-Azza, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan struktur anatomis otot wajah dengan pendekatan Penggabungan antara *Blendshape* dengan *Joint-based* untuk menyempurnakan serta mengunci stabilitas pergerakan (Shakir & Al-Azza, 2022) dengan menerapkan system controller agar proses animasi dapat bekerja secara efisien (Abdillah, 2021). Fokus utama adalah mengembangkan metode yang lebih efektif dan efisien dalam merepresentasikan ekspresi wajah manusia yang

kompleks, dengan mengintegrasikan teknologi terbaru untuk memperbaiki keakuratan dan responsifitas gerakan otot.

Penelitian ini mengusulkan adanya analisis struktur dasar wajah untuk penerapan ekspresi berbasis FACS pada animasi 3D. Penelitian ini akan menyajikan pembagian struktur wajah sesuai Kode *Action Units* dari FACS. Hasil dari penelitian ini akan bermanfaat bagi para profesional di bidang industri Animasi 3D, terutama untuk para Animator. Diharapkan bahwa hasil dari penelitian ini tidak hanya akan meningkatkan kualitas visual dalam animasi 3D, tetapi juga dapat diterapkan secara luas dalam berbagai industri kreatif seperti film animasi, game, simulasi, dan industri hiburan lainnya yang membutuhkan representasi wajah manusia yang ekspresif dan realistis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan representasi anatomi otot wajah berdasarkan FACS (*Facial Action Coding System*) dalam ekspresi animasi 3D. Metode ini mencakup langkah-langkah dari analisis literatur, pengumpulan data, pemodelan, implementasi, hingga evaluasi hasil.

Tahap Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan tahapan sebagai berikut:

a. Literature Review: Mengkaji literatur yang relevan mengenai FACS, anatomi otot wajah, dan teknik animasi 3D.
b. Pengumpulan Data: Mengumpulkan data tentang struktur anatomi otot wajah dan ekspresi wajah manusia melalui FACS. Mengidentifikasi dan meninjau penelitian sebelumnya yang relevan dengan FACS, anatomi otot wajah, dan animasi 3D. Menyusun daftar action units (AUs) yang diidentifikasi oleh FACS dan bagaimana mereka mempengaruhi otot wajah.
c. Pemodelan dan Simulasi: Mengembangkan model 3D otot wajah berdasarkan data yang diperoleh.
d. Implementasi: Mengintegrasikan model otot wajah ke dalam sistem animasi 3D dan menguji berbagai ekspresi wajah.
e. Instrumen Penelitian: Menggunakan perangkat lunak Cinema 4D untuk membuat model 3D otot wajah berdasarkan data anatomi yang diperoleh. Mengintegrasikan AUs ke dalam model 3D untuk memungkinkan simulasi ekspresi wajah yang realistis.
f. Evaluasi dan Validasi: Melakukan uji coba dengan pengguna dan ahli di bidang animasi untuk mengevaluasi akurasi dan realisme ekspresi wajah.

Menggunakan metrik evaluasi seperti tingkat kesesuaian dengan ekspresi manusia asli dan umpan balik subjektif dari para ahli. Memperbaiki model berdasarkan umpan balik dan hasil evaluasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang animasi 3D dengan menawarkan metode yang lebih akurat untuk merepresentasikan ekspresi wajah berdasarkan anatomi otot dan FACS. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan realisme animasi karakter dalam berbagai aplikasi, termasuk film, video game, dan sejenisnya.

Analisa Struktur Wajah

Penelitian ini untuk mendefinisikan jumlah otot wajah menggunakan acuan buku dari Uldis Zarins yang berjudul Anatomy of Facial Ekspression. Penelitian animasi wajah aktif berfokus pada tiga bidang mendasar untuk meningkatkan realitas: ekspresi wajah yang halus, rig model wajah, dan transfer ekspresi dari manusia (Ekmen &

Ekenel, 2019).Terdapat beberapa otot pada wajah dibagi menjadi beberapa bagian yang pada dasarnya otot dibagi menjadi 3 elemen utama yaitu; jaringan lunak wajah, otot mimetic wajah, dan daerah jaringan dalam. Kemudian pada Table 1 merupakan penjelasan dari gambar 5.



Gambar 1. Komponen-komponen otot pada wajah
Figure 1. Muscle components of the face

Tabel 1. Penjelasan komponen otot gambar 3
Table 1. Explanation of muscle components figure 3

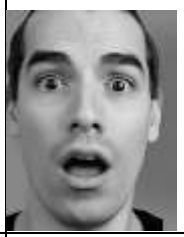
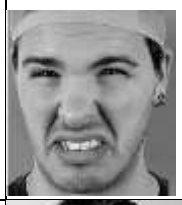
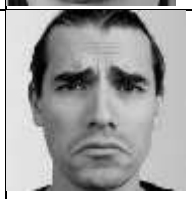
G	***Galea aponeurotica***	***12***	***Levator anguli oris***
1	*Frontalis*	*13*	*Orbicularis oris*
2	*Temporalis*	*M*	*Modiolus*
3	*Procerus*	*14*	*Masetter*
4	*Depressor supercilii*	*15*	*Depressor labii inferioris*
5	*Orbicuralis oculi*	*16*	*Risorius*
6	*Nasalis*	*17*	*Depressor anguli oris*
7	*L.l.s.a.n*	*18*	*Mentalis*
8	*Zygomaticus minor*	*19*	*Compressor narium minor*
9	*Zygomaticus major*	*20*	*Dilator naris anterior*
10	*Levator labii uperioris*	*21*	*Nasalis*
11	*Depressor septi nasi*	*22*	*Buccinator*

Dari Analisa struktur wajah yang telah dilakukan, maka pada penelitian akan melakukan perubahan bentuk 6 ekspresi umum berdasarka kode AU FACS yaitu

senyum, marah, terkejut, takut, jijik dan sedih, yang dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut merupakan kode AU yang akan dijadikan sebagai acuan sebagai berikut.

Tabel 2. Acuan Ekspresi berdasarkan FACS

Table 2. Expression Reference based on FACS

Ekspresi	Contoh Gambar	Kode *Action Unit*
Senyum		AU 6 + AU 12 + AU 25
Marah		AU 4 + AU 5 + AU 7 + AU 23
Terkejut		AU1, AU2, AU5, AU25, AU26.
Takut		AU1, AU5, AU11, AU20, AU25, AU26.
Jijik		AU4, AU6, AU9, AU11, AU15, AU17.
Sedih		AU1, AU4, AU15.

HASIL DAN PEMBAHASAN

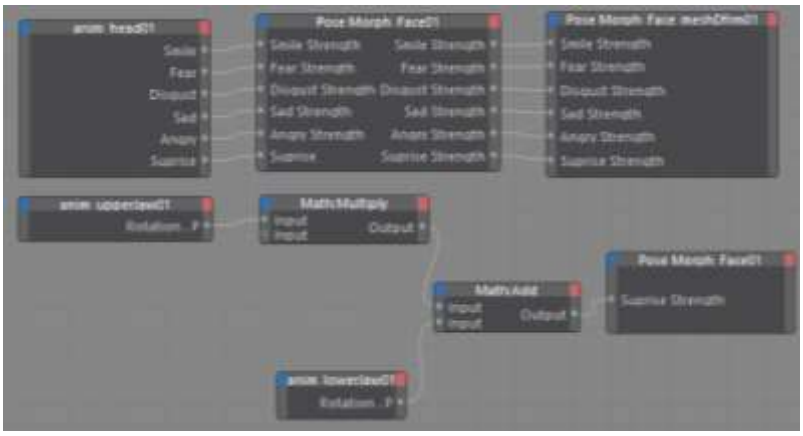
Pembuatan Model dan Penerapan Rig

Dalam pembuatan model 3D pada penelitian menerapkan detail geometri yang tinggi, termasuk mesh yang halus yang memungkinkan representasi yang lebih akurat dari otot dan struktur wajah. Meskipun belum ada ketentuan khusus untuk tingkat detail geometri, tetapi semakin detail maka pergerakan mesh akan terlihat semakin halus . Terdapat 7 area dalam penempatan titik rig diantaranya: alis, mata, pipi, hidung, mulut, dagu, serta area-area kerutan dan lipatan seperti pada bagian dahi dan hidung.

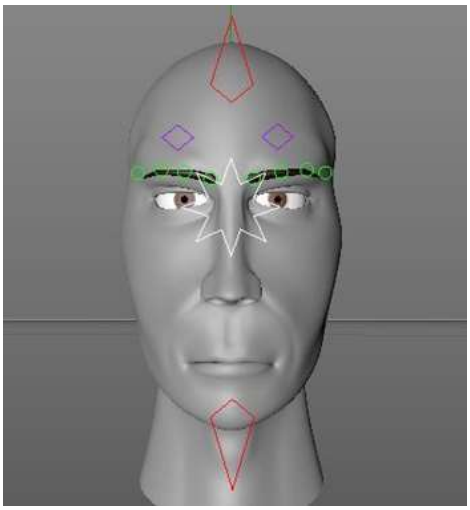


Gambar 2. 3D Model
Figure 2. 3D Model

Supaya dalam pengaplikasiannya lebih akurat, dalam penelitian ini menerapakan sistem *Node Connector* sebagai sistem kontrol untuk animasi. Teknik node connector memberikan banyak manfaat dalam sistem kontrol animasi wajah 3D, termasuk fleksibilitas, modularitas, dan kontrol yang presisi. Teknik ini memungkinkan keterhubungan yang kompleks dan reaksi dinamis antara berbagai bagian wajah, meningkatkan realisme ekspresi wajah. Dalam penelitian ini terdapat 13 sistem kontrol untuk rig pendekatan berbasis *joint-based* dan 6 sistem kontrol untuk rig berbasis *Blendshape.* Tujuan kombinasi kedua pendekatan ini juga bertujuan agar meminimalisir kompleksitas *Node* yang bisa mempengaruhi kinerja perangkat lunak, terutama pada resolusi tinggi.



Gambar 3. Sistem *Node Connector*
Figure 3. *Node Connector System*



Gambar 4. Sistem *kontrol berbasis joint-based*
Figure 4. Joint-based control system



Gambar 5. Sistem kontrol berbasis *blendshape*
Figure 5. Blendshape control system

Setelah melakukan berbagai Analisa, dan perancangan serta penerapan rigging, maka langkah selanjutnya melakukan eksperimen dengan membuat animasi wajah berdasarkan *Action Unit* pada FACS yang telah dipaparkan sebagai acuan animasi sebelumnya dan membuktikan apakah kontrol yang ada dapat mewakili *Action Units* untuk membuat ekspresi pada wajah. Eksperimen dilakukan dengan cara melakukan perubahan bentuk wajah dengan kontrol yang telah ditentukan berdasarkan ekspresi sesuai FACS.



Gambar 6. Perubahan Ekspresi Wajah
Figure 6. Changes in Facial Expression

Tabel 3. Hasil Penerapan Action Unit kedalam 3D Model
Table 3. Results of Implementing Action Units into 3D Models

Ekspresi	Deskripsi	AU	Otot	3D Model
Senang	• Menarik sudut bibir ke atas dan ke luar • Mengangkat pipi dan menyebabkan kerutan di sekitar mata. • Membuka bibir, memungkinkan mulut terbuka sedikit	AU 6 + AU 12 + AU 25	*Zygomaticus major+ Orbicularis oculi+ Relaxation of the depressor labii*	
Marah	• Menurunkan dan mengerutkan alis • Mengangkat kelopak mata atas • Mengencangkan kelopak mata • Mengencangkan bibir, memberikan tampilan bibir yang tipis dan tegang • Mengangkat dagu, memberikan tampilan bibir bawah yang lebih terlihat dan tegang	AU 4 + AU 5 + AU 7 + AU 23 + AU 17	*Corrugator supercilii, Depressor supercilii + Levator palpebrae superioris + Orbicularis oculi + Orbicularis oris + Mentalis*	
Terkejut	• Mengangkat bagian dalam alis, menciptakan kerutan di tengah dahi. • Mengangkat bagian luar alis, memberikan tampilan alis yang melengkung. • Mengangkat kelopak mata atas, membuat mata terlihat lebih besar dan terbuka lebar. • Menurunkan rahang, memberikan tampilan mulut yang terbuka lebar.	AU 1 + AU 2 + AU 5 + AU 26	*Frontalis (pars medialis) + Frontalis (pars lateralis) + Levator palpebrae superioris + Digastric, Mylohyoid, Geniohyoid*	
Takut	• Mengangkat bagian dalam alis, menciptakan kerutan di tengah dahi. • Mengangkat bagian luar alis, memberikan tampilan alis yang melengkung. • Menurunkan dan mengerutkan alis, sering terlihat pada ketakutan disertai kebingungan. • Mengangkat kelopak mata atas, membuat	AU 1 + AU 2 + AU 5 + AU 7 + AU 20 + AU 25 + AU 26	Frontalis (pars *medialis) + Frontalis (pars lateralis) + Corrugator supercilii, Depressor supercilii + Levator palpebrae superioris + Orbicularis oculi (pars palpebralis) + Risorius*	

	mata terlihat lebih besar dan terbuka lebar. • Mengencangkan kelopak mata, memberikan tampilan mata yang tegang. • Meregangkan bibir horizontal, sering terlihat pada ekspresi ketakutan ekstrem.			
Jijik	• Mengkerutkan hidung, sering terlihat pada ekspresi jijik atau bau yang tidak enak. • Mengangkat bibir atas, menunjukkan gigi atas. • Mengangkat dagu, memberikan tampilan bibir bawah yang lebih terlihat dan tegang	AU 9 + AU 10 + AU 15 + AU 16	*Levator labii superioris alaeque nasi* + *Levator labii superioris* + *Mentalis*	
Sedih	• Mengangkat bagian dalam alis, menciptakan kerutan di tengah dahi. • Menurunkan dan mengerutkan alis, sering terlihat pada ekspresi marah atau bingung, tetapi juga pada kesedihan. • Menurunkan sudut bibir, memberikan tampilan mulut yang mengarah ke bawah	AU 1 + AU 4 + AU 15 + AU 17	*Frontalis (pars medialis)* + *Corrugator supercilii, Depressor supercilii* + *Depressor anguli oris*	

Uji coba menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat menangani berbagai ekspresi wajah dengan baik, termasuk ekspresi kompleks yang melibatkan banyak unit aksi. Kombinasi spesifik dari AUs dapat secara signifikan meningkatkan realisme dan keakuratan ekspresi wajah pada model 3D. Penyesuaian intensitas dari setiap AU memungkinkan variasi dalam ekspresi, memberikan lebih banyak kontrol dan detail dalam animasi wajah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengoptimalkan representasi anatomi otot wajah berbasis *Facial Action Coding System* (FACS) dalam 6 ekspresi animasi 3D yaitu senyum, sedih, takut, jijik, terkejut, dan marah, menggunakan kombinasi pendekatan *blendshape* dan *joint-based* serta mengunakan Sistem *node connector* sebagai kontrol perubahan ekspresi, terdapat 13 titik kontrol untuk *joint-based* dan 6 area kontrol untuk *blendshape*. Dengan *node connector*, sistem dapat diatur untuk bereaksi secara dinamis terhadap perubahan ekspresi, memastikan bahwa gerakan wajah tetap alami dan konsisten. Metode ini memungkinkan penciptaan ekspresi wajah yang lebih realistis dan akurat dengan memanfaatkan pemodelan otot wajah yang mendetail. Umpan balik dari animator yang menggunakan sistem ini

menunjukkan bahwa sistem kontrol ini memudahkan mereka dalam menciptakan ekspresi wajah yang realistis dan dinamis, serta meningkatkan produktivitas dan efisiensi kerja.

Saran

Kompleksitas sistem dan kebutuhan akan optimasi anatomi otot wajah dalam ekspresi animasi 3D menjadi tantangan yang perlu diatasi. Untuk kedepannya bisa saja dengan mengintegrasikan teknologi canggih seperti AI, simulasi otot dinamis, teknik hybrid, dan VR/AR, serta dengan melibatkan kolaborasi interdisipliner, penelitian tentang optimasi representasi anatomi otot wajah dalam ekspresi animasi 3D dapat mencapai hasil yang lebih akurat dan realistis.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, T. R. (2021). Optimasi Proses Produksi Animasi 3d Dengan Menggunakan Metode Controller Rigging Wajah. *Jurnal Tika*, *6*(03), 254–259. https://doi.org/10.51179/tika.v6i03.812

Ding, Z., Tsang, C. K., Nolte, D., Kedgley, A. E., & Bull, A. M. J. (2019). Improving musculoskeletal model scaling using an anatomical atlas: The importance of gender and anthropometric similarity to quantify joint reaction forces. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *66*(12), 3444–3456. https://doi.org/10.1109/TBME.2019.2905956

Ekmen, B., & Ekenel, H. K. (2019). From 2D to 3D real-time expression transfer for facial animation. *Multimedia Tools and Applications*, *78*(9), 12519–12535. https://doi.org/10.1007/s11042-018-6785-8

Ekman, P. dan W. V. Friesen. (1978). Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. Palo Alto: Consulting Psychologists Press. https://doi.org/10.1037/t27734-000

Nendya, M. B., Husniah, L., Wibowo, H., & Yuniarno, E. M. (2021). Sintesa Ekspresi Wajah Karakter Virtual 3D menggunakan Action Unit berbasis Facial Action Coding System (FACS). *Journal of Animation and Games Studies*, *7*(1), 13–24. https://doi.org/10.24821/jags.v7i1.4239

Shakir, S. D., & Al-Azza, A. A. (2022). Facial Modelling and Animation: An Overview of The State-of-The Art. *Iraqi Journal for Electrical and Electronic Engineering*, *18*(1), 28–37. https://doi.org/10.37917/ijeee.18.1.4

Song, S. L., Shi, W., & Reed, M. (2020). Accurate face rig approximation with deep differential subspace reconstruction. *ACM Transactions on Graphics*, *39*(4). https://doi.org/10.1145/3386569.3392491

Wen, L., Zhou, J., Huang, W., & Chen, F. (2022). A Survey of Facial Capture for Virtual Reality. *IEEE Access*, *10*, 6042–6052. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138200

Xu, L. (2021). Face Reconstruction Based on Multiscale Feature Fusion and 3D Animation Design. *Mobile Information Systems*, *2021*. https://doi.org/10.1155/2021/3737189

Yan, Y., Lu, K., Xue, J., Gao, P., & Lyu, J. (2019). FEAFA: A well-annotated dataset for facial expression analysis and 3D facial animation. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops, ICMEW 2019*, 96–101. https://doi.org/10.1109/ICMEW.2019.0-104

Zarins, U. 2017. Anatomy of Facial Expression, First Edition. California: Exonicus. Inc.