

3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდოლოგია ATLAS დეტექტორის ვებ-ვიზუალიზაციისთვის

ბესიკ კეკელია, ალექსანდრე ალიხანოვი

სტუ-ს ბირთვული ინჟინერიის ცენტრი

bkekelia@cern.ch; aleksandr.alikhanov@cern.ch

რეზიუმე

3D მოდელირების ტექნოლოგიები თანამედროვე სამყაროში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ როგორც სამეცნიერო, ასევე საინჟინრო და სასწავლო პროცესებში. კვლევის ფარგლებში შემუშავებულია 3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდი, რომელიც მოიცავს ობიექტების ოპტიმიზაციას, პოლიგონების რაოდენობის შემცირებას და ა.შ. შედეგებმა აჩვენა, რომ ATLAS დეტექტორის მოდელების გამარტივება შესაძლებელი გახდა 94%-ით ობიექტების და 98%-ით პოლიგონების თვალსაზრისით, ვიზუალური სიზუსტის შენარჩუნებით. აღნიშნული მიდგომა უზრუნველყოფს მოდელების ეფექტურ გამოყენებას ვირტუალურ და ვებ-ვიზუალიზაციის აპლიკაციებში.

კვლევის მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ვიზუალიზაციის მაღალი ხარისხის შენარჩუნება და ოპტიმიზაცია ერთდროულად იშვიათად მიიღწევა. წარმოდგენილი მეთოდოლოგია გვიჩვენებს, როგორ შეიძლება რთული სამეცნიერო მონაცემები გარდაიქმნას უფრო ხელმისაწვდომ და ეფექტურ ვებ აპლიკაციებად.

საკვანძო სიტყვები: 3D მოდელირება, ვიზუალიზაცია, ATLAS დეტექტორი, CAD, ვებ-აპლიკაციები.

1 შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ სამყაროში 3D მოდელირება არა მხოლოდ ვიზუალიზაციისა და დიზაინის ინსტრუმენტია, არამედ წარმოადგენს კვლევისა და ინოვაციის საფუძველს. მისი გამოყენება გვხვდება არქიტექტურაში, მანქანათმშენებლობაში, მედიცინაში, კინოში, კომპიუტერულ თამაშებსა და განსაკუთრებით სამეცნიერო ექსპერიმენტებში.

CERN-ში მიმდინარე ექსპერიმენტები, განსაკუთრებით ATLAS, მოითხოვს უზარმაზარი მოცულობის მონაცემთა დამუშავებასა და ვიზუალიზაციას. დეტექტორის მოდელები შეიცავს მილიონობით კომპონენტს, რაც პირდაპირი სახით ვერ მოხვდება ვებ-ბრაუზერში. შესაბამისად, საჭირო ხდება ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, შევძლოთ რთული 3D გეომეტრიული აღწერების ვიზუალიზაცია ვებ ბრაუზერების საშუალებით.

3D მოდელირება მოითხოვს რთულ მათემატიკურ გამოთვლებს, მაგრამ მხოლოდ ეს საკმარისი არ არის. რეალისტური მოდელის შესაქმნელად საჭიროა დიზაინისა და ხელოვნების უნარების სინთეზი. ამიტომ 3D მოდელირება არის არა მხოლოდ ტექნიკური, არამედ შემოქმედებითი პროცესი. ეს გარემოება კიდევ უფრო ზრდის მისი გამოყენების პოტენციალს.

3D მოდელირება ფართოდ გამოიყენება როგორც ვირტუალური რეალობის (VR) და აუგმენტირებული რეალობის (AR) ტექნოლოგიებში, ასევე 3D ვიზუალიზაციის ვებ-აპლიკაციებში [1][2]. ვებ-აპლიკაციები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ 3D გრაფიკის ტექნოლოგიების მასობრივ გავრცელებასა და ხელმისაწვდომობაში. მათ აქვთ რამდენიმე მნიშვნელოვანი უპირატესობა, რომლებიც ხელს უწყობს ამ ტექნოლოგიების პოპულარიზაციას:

- ხელმისაწვდომობა და პლატფორმის დამოუკიდებლობა – ვებ-აპლიკაციები მუშაობს ნებისმიერ მოწყობილობაზე, რომელსაც აქვს ინტერნეტ ბრაუზერი. მომხმარებლებს აღარ სჭირდებათ სპეციალური პროგრამების ინსტალაცია, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს 3D გრაფიკის გამოყენებას.
- ღირებულება – მრავალი ვებ-აპლიკაცია გვთავაზობს უფასო ან დაბალფასიან მოდელებს, რის გამოც მომხმარებლებს აღარ უწევთ ძვირადღირებული პროგრამული უზრუნველყოფის შეძენა.
- მარტივი განახლება და ტექნიკური მხარდაჭერა – ვებ-აპლიკაციების განახლება ავტომატურად ხდება სერვერზე, რაც მომხმარებლებს უზრუნველყოფს უახლესი ფუნქციებითა და გაუმჯობესებებით, დამატებითი ქმედებების გარეშე.

2. ძირითადი ნაწილი.

3D გეომეტრიული მოდელების გამარტივება ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის

3D ვებ-აპლიკაციების განვითარება დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საქმე ეხება VR, AR და სხვა ვიზუალიზაციის აპლიკაციებს, რომლებიც მუშაობენ შედარებით დაბალ ფასიან აპარატურაზე. პროცესს კიდევ უფრო ართულებს, თუ საჭიროა აპლიკაციის მასიური ხელმისაწვდომობა ვებ-პლატფორმაზე. მთავარი სირთულეები მოიცავს შემდეგს:

1. ტექნიკური შეზღუდვები – მიუხედავად ვებ-ბრაუზერების პროგრესისა, ისინი ჯერ კიდევ ჩამორჩებიან კომპიუტერულ და მობილურ აპლიკაციებს გრაფიკული წარმადობის თვალსაზრისით. VR და AR აპლიკაციები მოითხოვენ მაღალი ხარისხის 3D გრაფიკას და რეალურ დროში დამუშავებას, რაც განსაკუთრებით ძნელია დაბალი წარმადობის მოწყობილობებზე.
2. პლატფორმის შეზღუდვები – აპლიკაცია უნდა იყოს თავსებადი ყველა ძირითად ბრაუზერზე და მოწყობილობაზე. ეს მოითხოვს სხვადასხვა პლატფორმის თავისებურებების გათვალისწინებას და შესაბამისი ტექნოლოგიების გამოყენებას [3][4].

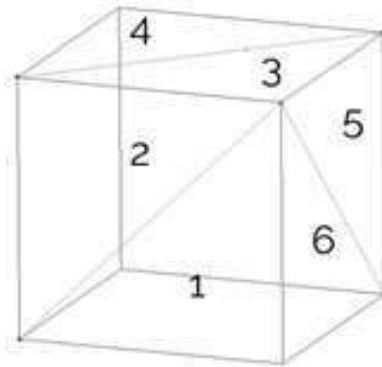
კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის 3D მოდელების გამარტივების მეთოდები. ვებ ბრაუზერები გამოირჩევიან 3D მოდელების ჩატვირთვის ლიმიტებით ცხრ.1. [1]

ცხრ.1 3D მოდელების ჩატვირთვის ლიმიტები

CPU	პოლიგონები
Intel core i3 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	1-5 მილიონი
Intel core i5 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	5-10 მილიონი
Intel core i7 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	10-50 მილიონი
Intel core i9 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	50-100 მილიონი
Intel core i3 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	1-3 მილიონი
Intel core i5 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	3-5 მილიონი
Intel core i7 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	5-7 მილიონი

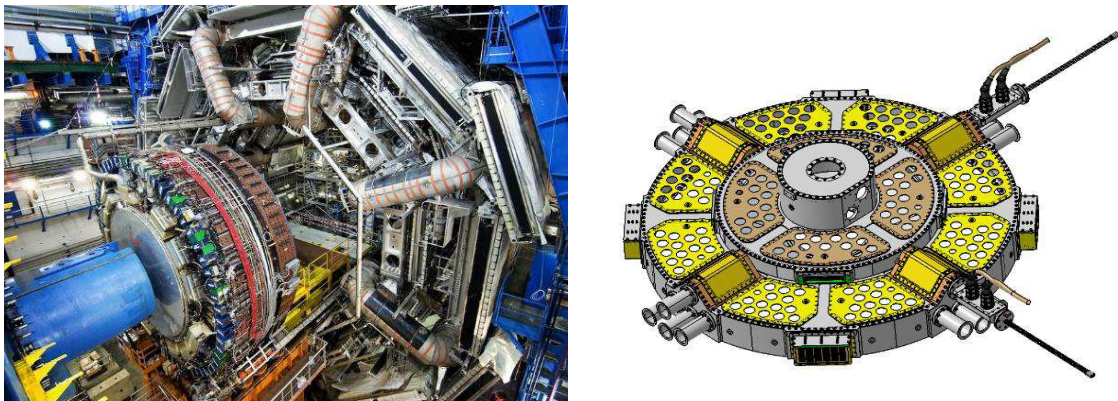
3D მოდელები აგებულია პოლიგონების – სამკუთხედების საშუალებით (ნახ. 1), ხოლო პოლიგონების რაოდენობა პირდაპირ გავლენას ახდენს აპლიკაციის წარმადობაზე. ამიტომ მნიშვნელოვანია მოდელების გამარტივება და პოლიგონების რაოდენობის შემცირება ისე, რომ

არ დაზარალებს მოდელის ვიზუალური იერსახე. ამისთვის საჭიროა ეფექტური გამარტივების მეთოდების გამოყენება. შესაბამისად, ამ მეთოდების შემუშავება წარმოადგენს აქტუალურ კვლევით ამოცანას, რომელიც უზრუნველყოფს 3D ვიზუალიზაციის აპლიკაციების სტაბილურ მუშაობას ვებ-ბრაუზერებში [5].



ნახ. 1

ჩამოთვლილი მეთოდები მნიშვნელოვანია, განსაკუთრებით მაშინ, როცა პროექტი სრულდება CERN-ისთვის (ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაცია), სადაც გამოიყენება ატლასის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერები. ეს აღწერები ძალიან დეტალურია და ის შეიცავს 47 მილიონ პრიმიტივს [1]. რაც პირდაპირი გამოყენების შემთხვევაში იწვევს მოწყობილობის დატვირთვას და ბრაუზერის ავარიულ გათიშვას.



ნახ.2

პრობლემის თავიდან აცილებისთვის გეომეტრიული აღწერების გამარტივება აუცილებელია. კვლევის ფარგლებში დამუშავდა 3D მოდელის გამარტივების მეთოდი, რომელიც 3 ეტაპისგან შედგება:

1. უხილავი ან ნაკლებად შესამჩნევი ობიექტების ამოღება
2. ფაილის კონვერტაცია Cad ტიპის მოდელიდან მეშის ფორმატში.
3. პოლიგონების შემცირება და პოლიგონალური ბადის შესწორება

პირველი ეტაპი გულისხმობს უხილავი ობიექტების ამოღებას, მაგალითად, ჭანჭიკები, ზამბარები, კონექტორები, რომლებიც მოდელში ფიზიკურად აუცილებელია, მაგრამ ვიზუალში არ ჩანს. მათი ამოღებით მნიშვნელოვნად მცირდება როგორც ობიექტების, ისე პოლიგონების რაოდენობა. ამ ოპერაციამ საშუალება მოგვცა, რომ მოდელი გამარტივდეს ისე, რომ ვიზუალური სიზუსტე იყოს შენარჩუნებული.

მეორე ეტაპი CAD ფაილების კონვერტაციაა. ATLAS დეტექტორის მოდელები ინახება SmarTeam-ზე (საინჟინრო მონაცემთა ბაზა CERN-ში) პროგრამაში. ეს ფაილები გადაყვანილ

უნდა იქნეს ისეთ ფორმატში, რომელიც ვებ აპლიკაციებისთვის მისაღებია (მაგ., wrf, stl, obj). შემდგომი დამუშავება ხდება Blender-ში, სადაც შესაძლებელია მოხდეს ტექსტურების დამატება, მოდელის რენდერინგი და პოლიგონების შემცირება. ეს ნაბიჯი აუცილებელია, რადგან CAD ფაილები ხშირად არ შეესაბამება ვებ ვიზუალიზაციის მოთხოვნებს.

მესამე ეტაპი არის პოლიგონების ოპტიმიზაცია. რთული ობიექტების ზედაპირი ხშირად შედგება მილიონობით პოლიგონისგან. Mesh Reduction ტექნიკებით შესაძლებელია ამ რაოდენობის შემცირება ისე, რომ ვიზუალიზაციის პრაქტიკულად უცვლელი დარჩეს. გარდა ამისა, გამოიყენება ნორმალების გამოთვლა. რათა ვიზუალიზაცია რეალურ დროში უფრო სწრაფად მოხდეს.

მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა:

- 94%-იანი შემცირება ობიექტების რაოდენობაში;
- 98%-იანი შემცირება პოლიგონებში;
- მუშაობის სტაბილურობა – მოდელების ვიზუალიზაცია შესაძლებელია 30–60 FPS-ზე სტანდარტულ კომპიუტერზე;
- ვიზუალური სიზუსტის შენარჩუნება – გამარტივებულ მოდელს რეალურ დეტალებთან მიმართებაში პრაქტიკულად არ აქვს განსხვავება;

მიღებული მოდელები უკვე გამოყენებულია CERN-ის Tracer ვებ-აპლიკაციაში, რაც ადასტურებს მეთოდის პრაქტიკულ სარგებელს. შედეგებმა ასევე აჩვენა, რომ ოპტიმიზაცია განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მობილურ მოწყობილობებისთვის, რადგან მათ აქვთ უფრო შეზღუდული გამოთვლითი რესურსები. გამარტივებული მოდელების გამოყენებამ საშუალება მოგვცა სმარტფონებსა და ტაბლეტებზეც კი სტაბილურად იმუშავოს ვიზუალიზაციის ვებ აპლიკაციებმა.

3. დასკვნა.

კვლევამ დაამტკიცა, რომ რთული სამეცნიერო ობიექტების ვებ-ვიზუალიზაცია სრულიად რეალურია, თუ სწორად იქნება გამოყენებული გეომეტრიული გამარტივების მეთოდები.

გარდა ამისა, კვლევა ქმნის საფუძველს მომავალი ინოვაციებისთვის, რომლებიც დაკავშირებულია VR/AR სისტემებთან, დისტანციურ განათლებასთან და მეცნიერების პოპულარიზაციასთან. ვებ-აპლიკაციების საშუალებით შესაძლებელია სამეცნიერო ინფრასტრუქტურის გაცნობა ფართო საზოგადოებისთვისაც, რაც ხელს უწყობს მეცნიერების ღიაობასა და განვითარების ახალ შესაძლებლობებს.

მეთოდის დამუშავების პროცესში მთავარი გამოწვევა იყო ვიზუალიზაციის ხარისხისა და გამართული მუშაობის ბალანსი. თუ მოდელი ძალიან მარტივდება, დაკარგავს ვიზუალიზაციის ხარისხს, რაც მიუღებელია. ზედმეტად დეტალური მოდელები კი იწვევს FPS-ის მკვეთრ შემცირებას და აპლიკაციის გაჭედვას.

მნიშვნელოვანი ასპექტია ისიც, რომ აღნიშნული მიდგომა შეიძლება გავრცელდეს სხვა სფეროებზეც. მაგალითად, სამედიცინო ვიზუალიზაცია (ორგანოების 3D მოდელირება), არქეოლოგია (უძველესი არტეფაქტების აღდგენა), ინჟინერია (მექანიკური კონსტრუქციების ანალიზი) და განათლება (ვირტუალური ლაბორატორიები). ამიტომ კვლევა არა მხოლოდ კონკრეტული პროექტის ფარგლებშია მნიშვნელოვანი, არამედ ფართო კონტექსტშიც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ალექსანდრე ალიხანოვი. “3D გეომეტრიული აღწერების დამუშავების მეთოდები ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის”. სტუ. 2025
2. ბესიკ კეკელია, ალექსანდრე ალიხანოვი. 3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდების დამუშავება ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის. საგამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2024. ISBN 978-9941-512-80-3
3. Laurie Annis. Blender 3D for Jobseekers. 2023
4. Jerald, Jason. The VR Book: Human-Centred Design for Virtual Reality. 2016
5. Loeb, Arthur L. Polyhedra: Surfaces or solids. 2013

Methodology for simplifying 3D geometric descriptions for web visualization of the ATLAS detector

Besik Kekelia, Aleksandre Alikhanov

Nuclear Engineering Center, GTU

bkekelia@cern.ch, aleksandr.alikhanov@cern.ch

Abstract

3D modeling technologies play an important role in the modern world in scientific, engineering, and educational processes. In this research, a method for simplifying 3D geometric descriptions has been developed, which includes object optimization, reduction of polygon count, and more. The results showed that simplification of ATLAS detector models is possible by 94% in terms of objects and 98% in terms of polygons, while maintaining visual accuracy. This approach ensures the efficient use of models in virtual and web visualization applications.

The significance of this research lies in the fact that maintaining high visualization quality and achieving optimization simultaneously is rarely possible. The presented methodology demonstrates how complex scientific data can be transformed into more accessible and efficient web applications.

Keywords: 3D modeling, visualization, ATLAS detector, CAD, web applications.