

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

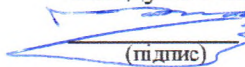
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 **С.А. Найда**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“01” червня 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва)

на тему: «Особливості морфінгу зображень в середовищі спеціалізованого
програмного пакету Nuke»

Виконав: студент IV курсу, групи ДВ-61
(шифр групи)

Лупійко Вадим Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

доц. Трапезон К.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕПС, к.т.н., доцент Михайлов С.Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Електроніки

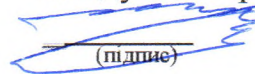
Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С.А. Найда
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 25 » травня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту**

Лупійку Вадиму Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: «Особливості морфінгу зображень в середовищі спеціалізованого програмного пакету Nuke»

керівник роботи Трапезон Кирило Олександрович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25»травня 2020 р. №1196-с

2 Термін подання студентом роботи 04 червня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи: 1) основний програмний продукт для аналізу – The Foundry NukeX non-commercial; 2) комп'ютерні графічні файли для проведення морфінгу – наявні; 3) відеоролики у форматі .mov – наявні; 4) кількість зображень для проведення варпінгу – 1; 5) кількість зображень для аналізу – 2 статичні та 2 секвенції; 6) тривалість секвенції для морфінгу відеороликів – не більше 20 с; частота зміни кадрів секвенції – 24 кадрів/сек.

4 Зміст роботи: 1) Розглянуто теоретичні засади технологій варпінгу та морфінгу зображень; 2) Проаналізовано програмні інструменти з реалізації морфінгу зображень; 3) Проведене практичне дослідження з реалізації технології морфінгу на основі створення відповідних нодових схем; 4) Визначено умови, які слід враховувати при проведенні процедури морфінгу зображень, як статичних так і динамічних в рамках програмного пакету NUKE.

5 Перелік ілюстративного матеріалу: комплект презентації за матеріалами проведеного дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 11 березня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	24.03.2020	виконано
2	Написання другого розділу	20.04.2020	виконано
3	Написання третього розділу	10.05.2020	виконано
4	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	30.05.2020	виконано
5	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	1.06.2020	виконано

Студент



(підпис)

В. П. Лупійко

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

К.О. Трапезон

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 51 с., 38 рис., 1 дод., 7 джерел.

ЗОБРАЖЕННЯ, МОРФІНГ, ТРАНСФОРМАЦІЯ, ВАРПІНГ, НОДА, СХЕМА, ОБ'ЄКТ, СЕКВЕНЦІЯ.

Об'єкт дослідження – програмні інструменти спеціалізованого програмного пакету Nuke та набір студійного візуального контенту для реалізації технології морфінгу зображень для цілей кіновиробництва.

Метою роботи є аналіз програмних інструментів програми з цифрового композитингу для роботи статичними та динамічними зображеннями (відеороліки) задля проведення процедури морфінгу. Крім цього, необхідно визначити основні програмні підходи, які дозволяють провести операції з варпінгу та морфінгу зображень.

У результаті виконання дипломної роботи були створені нодові схеми, які на основі підключення зображень з елементами комп'ютерної графіки та зображень, які отримано в студії, дозволяють виявити усі технічні нюанси роботи з реалізації процедури морфінгу зображень.

Галузь застосування: кіновиробництво, цифровий композитинг, програми зі створення візуальних ефектів для кінофільмів.

THE ABSTRACT

Thesis of bachelor's: 51 p., 38 fig., 1 appendix, 7 refer.

IMAGE, MORPHING, TRANSFORMATION, WARPING, NODE, SCHEME, OBJECT, SEQUENCE.

The object of research is the software tools of the specialized software package Nuke and a set of studio visual content for the implementation of image morphing technology for the purposes of film production.

The aim of the work is to analyze the software tools of the digital compositing program for working with static and dynamic images (videos) for the morphing procedure. In addition, it is necessary to identify the basic software approaches that allow you to perform operations on warping and morphing images.

As a result of the thesis, node schemes were created, which, based on the connection of images with elements of computer graphics and images obtained in the studio, allow to identify all the technical nuances of the implementation of the procedure of image morphing.

Field of application: film production, digital compositing, programs for creating visual effects for movies.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОРФІНГУ ТА ВАРПІНГУ.....	9
1.1 Трансформація зображень.....	9
1.1.1 Технологія морфінгу зображення.....	9
1.1.2 Технологія варпінгу зображення.....	11
1.2 Програмні трансформації крапки.....	15
1.2.1 Нода GridWarp.....	15
1.2.2 Нода SplineWarp.....	17
Висновки до розділу 1.....	20
2 ВАРПІНГ. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ	22
2.1 Програмні особливості варпінгу зображення.....	22
Висновки до розділу 2.....	30
3 МОРФІНГ. ПРАКТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ.....	31
3.1 Вихідні дані до завдання.....	31
3.2 Особливості морфінгу при статичних зображеннях.....	34
3.3 Особливості морфінгу для відео секвенцій.....	41
Висновки до розділу 3.....	48
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51
ДОДАТОК А. SUMMARY.....	52

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

2D	- 2-dimensional;
BSpline	- Basis Spline;
FL	- Field Lines.

ВСТУП

Різноманітні комп'ютерні спецефекти, якими вирізняються сучасні кінофільми вже не можна описати стандартними засобами на основі програм нелінійного монтажу. Візуальні ефекти, які містяться в кіно продукту спрямовані на те, щоб насамперед вразити глядача в кінотеатрі. Натомість, способи їх створення і контролю, останнім часом все більше вимагають значних машинних ресурсів графічних станцій. І добре, коли цим займається велика кіностудія. Інша ситуація виникає коли необхідно зробити відеокліп, який б мав різні трансформації зображення (ефект повільного переходу одного зображення в інше зображення), а машинних ресурсів при цьому обмаль. Одним з таких ефектів можна вважати трансформацію зображень, їх деформацію на основі варпінгу чи морфінгу окремих елементів. І питання як змодельовати ці технології, як визначити повільне перетворення зображень для відзнятого матеріалу постає на перший план. Відповіддю на це питання можуть стати програмні засоби з цифрового композитингу, наприклад програмний пакет Nuke. І як ці засоби в програмі використати, налаштувати та адаптувати до контенту при створенні морфінгу і присвячена дана дипломна робота.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОРФІНГУ ТА ВАРПІНГУ

1.1 Трансформація зображень

1.1.1 Технологія морфінгу зображення

Морфінг (англ., *morphing*) являє собою такий вид обробки зображення, який дозволяє створити ілюзію плавного перетворення одного зображення в інше [1]. Для того щоб здійснити таке перетворення, на оригінальному документі, яке підлягає перетворенню, і на кінцевому зображенні, в яке має бути перетворено вихідне, виділяють відповідні один одному області, які перетворюються одна в іншу. Цих областей може бути досить багато. Морфінг може бути виконаний або з одним зображенням, або з двома зображеннями. У першому випадку перетворене зображення є спотвореною копією вихідного. Однак на практиці, частіше застосовується другий випадок, при якому морфінг використовується для створення ілюзії поступового переходу одного зображення в інше.

Зазвичай, при морфінгу в якості вихідного і кінцевого зображень використовують нерухомі зображення, проте в загальному випадку можуть використовуватися і секвенції кадрів, що представляють собою рухомі зображення.

Розглянемо як приклад морфінгу нерухомих зображень процедуру перетворення однієї особи в іншу (рис 1.1). В цьому випадку форма першої особи, а саме області зображення, що представляють собою овал обличчя, зачіска, очі, вуха, ніс, рот тощо, повинні бути змінені так, щоб вони були узгоджені з відповідними областями в зображенні другої особи.



Рисунок 1.1 – Зображення плавного переходу

Це узгодження відповідних областей досягається завдяки їх оконтурюванню за допомогою так званих польових ліній (*FL, field lines*). Від цих ліній не потрібно, щоб вони були б з'єднані між собою, і більш того, часто потрібно якраз протилежне для того, щоб окремі частини зображення перетворювались незалежно [2].

Розглянемо найпростіший випадок, коли при морфінгу використовується всього одна польова лінія. Уявімо собі, що ця лінія проведена через центр вихідного зображення горизонтально. На зображенні, в яке перетворюється вихідне зображення, ця лінія програмою морфінга буде також поміщена горизонтально. Тепер візьмемо і повернемо на кінцевому зображенні цю лінію вертикально. При виконанні програми поворот польової лінії призведе до повороту на 90 градусів всього зображення. Змінюючи довжину польової лінії на кінцевому зображенні по відношенню до довжини лінії вихідного зображення, можна його стискати або розтягувати. Зазвичай при морфінгу використовується не одна, а безліч польових ліній.

Припустимо, ми хочемо перетворити за допомогою морфінга звичайне овальне обличчя в обличчя квадратної форми, як це демонструвалося в свій час по телебаченню в одній з реклам. Для цього, слід на оригінальному документі обвести контурами овал особи, а на кінцевому зображенні польові лінії розташувати так, щоб вони утворили квадрат, а інше виконає програма.

Таким чином, польові лінії є тим інструментом, за допомогою якого ми можемо змінювати розміри і форму окремих областей і навіть всього зображення в цілому. При роботі програма морфінгу автоматично створює ряд проміжних зображень, завдяки чому при демонстрації утворилася послідовності кадрів створюється ілюзія плавного перетворення вихідного зображення в кінцеве.

Найголовніша умова створення якісного морфінга це вибрати відповідні зображення, тобто такі, які містять між собою взаємозв'язок [1].

1.1.2 Технологія варпінгу зображення

Варпінг (англ., warping) являє собою технологію перетворення зображення, яке нагадує за своїми кінцевими результатами морфінг, але варпінг відрізняється від морфінгу, перш за все, математичними перетвореннями, які використовуються для його реалізації, а також змінами в зображенні (рис 1.2) [2].



Рисунок 1.2 – Приклад варпінгу

При процедурі варпінгу на зображення накладається сітка (*grid*), яка розділяє зображення на серію прямокутних областей (рис 1.3) [2].

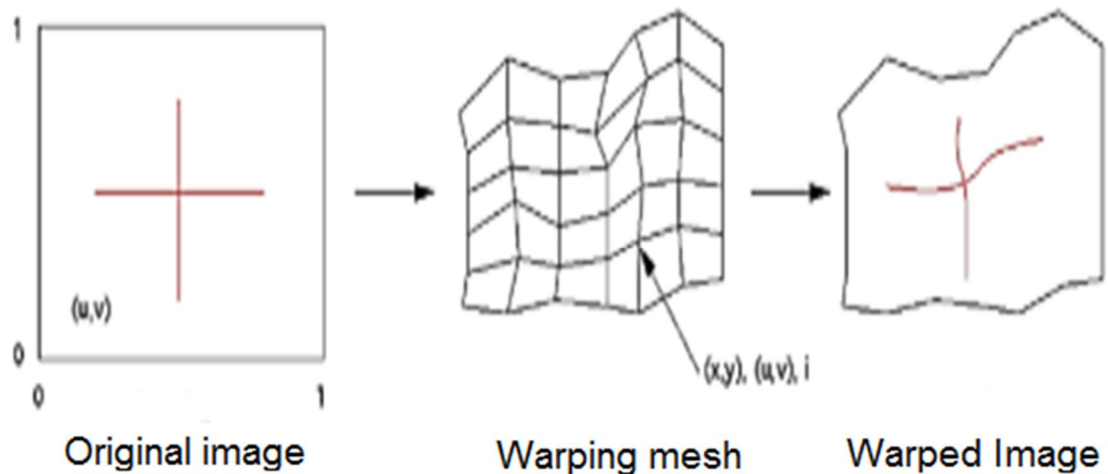


Рисунок 1.3 – Зображення показує процес варпінгу

При цьому кожен вузол сітки, утворений перетином горизонтальних і вертикальних ліній, може бути переміщений за допомогою мишки відносно свого вихідного положення. Переміщення вузла сітки викликає зсув пікселів зображення, на яке накладається сітка, причому чим ближче до вузла сітки піксель, тим за інших рівних умов він більше зміщується. Виходить при цьому, що ефект нагадує деформацію зображення, намальованого на гумовій мембрані при її місцевому розтягуванні. При варпінгу так само, як і при морфінгу, програма генерує послідовність проміжних зображень, завдяки яким створюється повільний перехід зображення до своєї “навмисно” спотвореної копії. В наш час є цілий ряд програм, призначених для виконання морфінга і варпінга, починаючи з відомої на світ програми Nuke.

Основа процедури варпінгу – це неперервна функція $w(x, y, z)$, що відображає R^3 на R^3 . Припускається, що викривлений простір можна порівняти з чітким, гнучким, пластичним паралелепіпедом, в якому об'єкти, які потрібно викривити, вбудовуються. Викривлений елемент може бути визначений за допомогою деякої функції основи $w(p)$ до рівняння [3]:

$$f_i(x, y, z) = g_i \times d_i \times w_i(x, y, z).$$

Викривлений елемент може повністю характеризуватися величиною відстані до його функції $d_i(x, y, z)$, його фільтр через функцію $g_i(r)$, і, зрештою, його основна функція $w_i(x, y, z)$. Розрізняють наступні види викривлення тестового елемента типу “жувальна гумка”:

- **Скручування.** У цьому прикладі поворот навколо осі z на θ (рис 1.4) на три змішані неявні циліндри із накрученою основою [3].

Формула скручування навколо осі z виражається як:

$$w(x, y, z) = \begin{cases} x \cos(\theta(z)) - y \sin(\theta(z)); \\ x \sin(\theta(z)) + y \cos(\theta(z)); \\ x. \end{cases}$$



Рисунок 1.4 – Приклад скручування

- **Конусність.** Конус застосовують уздовж однієї основної осі (рис 1.5). Лінійний конус виявляється найбільше корисним, хоча квадратичні та кубічні конуси легко реалізуються. Наприклад, лінійна конусність по осі y включає зміну як x -, z -координат. А для y між $y_{\max}$ та $y_{\min}$ застосовується лінійна шкала:

$$s(y) = \frac{y_{\max} - y}{y_{\max} - y_{\min}};$$

$$w(x, y, z) = \begin{cases} s(y)x; \\ y; \\ s(y)z. \end{cases}$$



Рисунок 1.5 – Приклад застосування конуса

- **Згинання.** Згинання також накладають уздовж однієї основної осі (рис 1.6). Швидкість згинання k вимірюється в радіанах на одиницю довжини, вісь вигину дорівнює $(x_0, 1/k)$, а кут θ визначається як $(x - x_0) \times k$. Згинання навколо z можна визначити через перетворення:

$$w(x, y, z) = \begin{cases} -\sin(\theta)(y - 1/k) + x_0; \\ \cos(\theta)(y - 1/k) + 1/k; \\ z. \end{cases}$$



Рисунок 1.6 – Приклад згинання

Таким чином, різниця між морфінгом і варпінгом полягає у тому що, морфінг створює ілюзію плавного переходу одне зображення в інше, і можна працювати з одним або з двома зображеннями. А в варпінгу відразу відображається кінцевий результат. Варпінг відрізняється від морфінгу математичними перетвореннями, які залучені для його реалізації, а також змінами в зображенні [3].

1.2 Програмні трансформації крапки

Розглянемо як саме можна зробити процедуру морфінгу і варпінгу над тестовими зображеннями, використовуючи при цьому інструменти і ноди спеціалізованого програмного пакету Nuke.

1.2.1 Нода GridWarp

За допомогою цієї ноди в програмі можна провести операцію морфінгу над обраними зображеннями. Так, ноду необхідно відразу підключати до зображення при додаванні у панель NodeGraph програми Nuke. Така умова обумовлена тим, що при активному зображенні підключаються і певні маніпулятори з ноди GridWarp. Так після підключення зображення до ноди, на поверхні зображення відразу буде показана спеціальна сітка з окремих активних крапок (рис.1.7).

Аналізуючи властивості ноди GridWarp можна підкреслити наявність двох полей ноди – сітки “Source Grid” та “Destination Grid”. Поле “Source Grid” – область, сітка якої відповідає за крапки звідки ми трансформуємо. “Destination Grid” – область, сітка якої відповідає за крапки куди ми трансформуємо (рис. 1.8) [1].

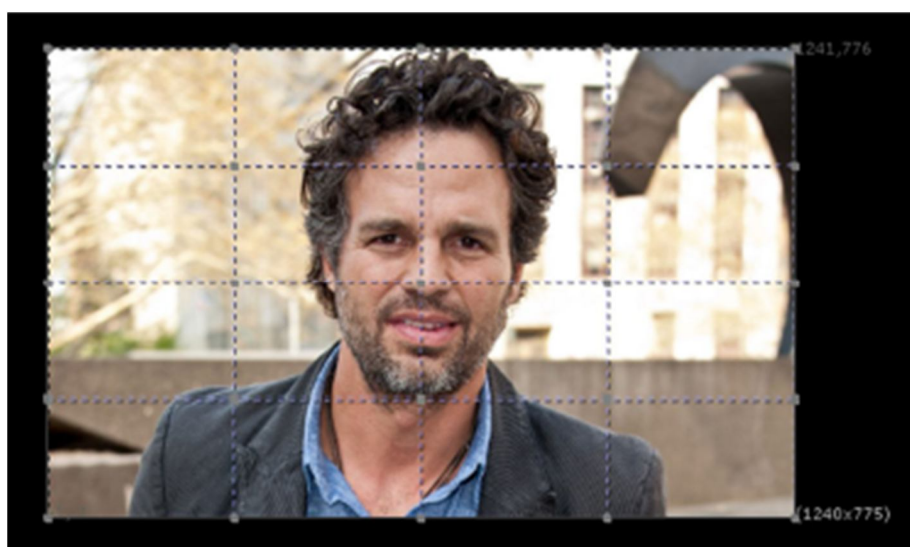
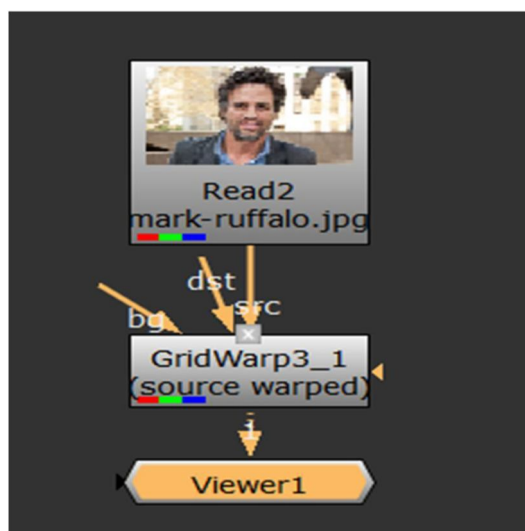


Рисунок 1.7 – Приклад роботи ноди GridWarp

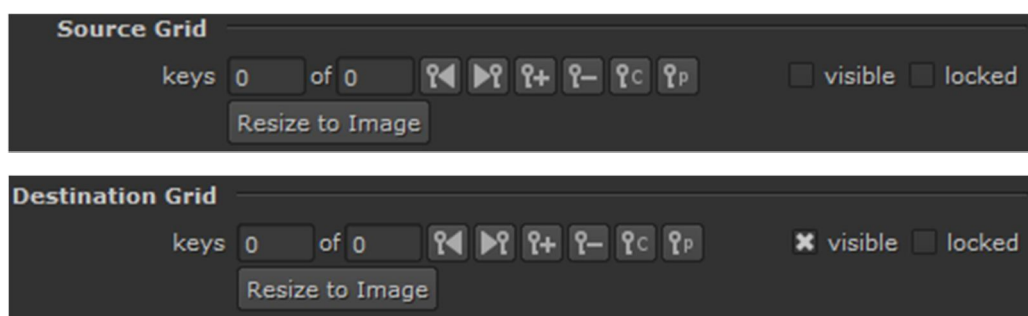


Рисунок 1.8 – Області ноди GridWarp (налаштування)

В налаштуваннях ноди GridWarp у вкладці GridWarp розрізняють різні режими роботи у Warp(поле *output*) (рис. 1.9) [1]:

- “source warped” - встановлення процедури варпінгу вихідного зображення. В даному випадку вихідне зображення – те, що підключено до входу “src” ноди GridWarp;
- “destination warped” - та сама процедура варпінг, як і source warped, але з зображенням, яке підключено до входу “dst” ноди;
- “source” - просто в Viewer візуалізується зображення, яке підключено до входу “src” ноди;
- “ destination” - просто в Viewer візуалізується зображення, яке підключено до входу “dst” ноди.
- “morph” - режим морфінгу.

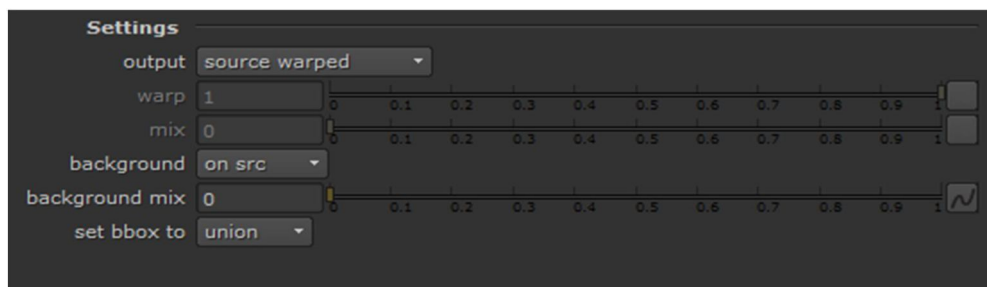


Рисунок 1.9 – Налаштування ноди GridWarp

1.2.2 Нода SplineWarp

Відрізняється від ноди GridWarp тим, що для режимів warp та morph використовуються криві замкнені лінії, тобто інструменти ротоскопінгу. Але для цієї ноди є свої інструменти роботи з лініями (рис.1.10) [1].



Рисунок 1.10 – Панель інструментів ноди SplineWarp

Алгоритм роботи ноди SplineWarp наступний: за допомогою інструменту B-Spline створюємо 2 маски. Сама трансформація зображень відбувається через використання кнопки-інструменту “Join Tool”:



Цим інструментом спочатку обираємо область звідки трансформувати, а потім обираємо область куди треба трансформувати (рис 1.11) [1].

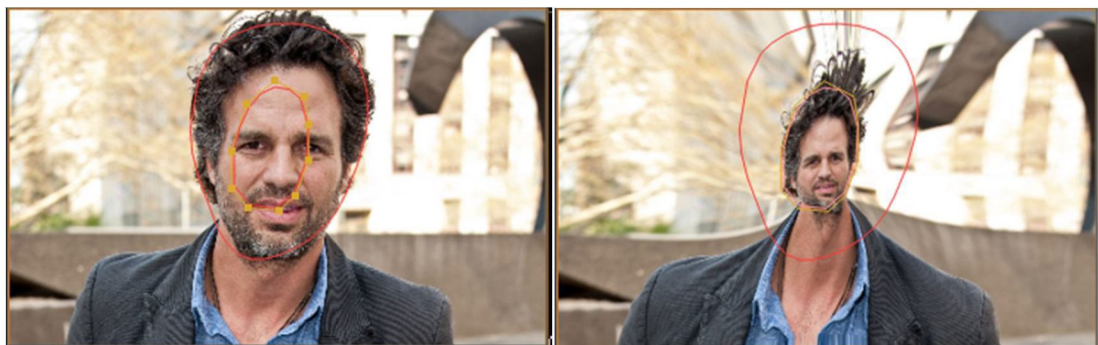


Рисунок 1.11 – Трансформація зображення на основі інструменту “Join Tool”

Алгоритм морфінгу для ноди SplineWarp наступний:

- створюємо фігуру кривої в режимі *A Warped*;
- у списку фігур через праву кнопку миші обираємо напроти кривої рядок “Duplicate in B and join”;
- в режимі *B Warped* для другої підключеної картинки корегуємо надіслану фігуру;
- і перемикаючи, в режим в пункті output до “*AB morph*” та змінюючи параметри “*mix*” та “*root warp*” можемо побачити трансформацію зображень при морфінгу. Ці процедури виконаємо в практичній частині дипломної роботи.

В програмі Nuke є можливість анімувати крапки сітки для окремого кадру секвенції (рис.1.12) [4,5].



Рисунок 1.12 – Інструмент редагування

І крім цього, програма може скопіювати і вставити інформацію про всі точки ключових кадрів (рис.1.13) у налаштуваннях ноди GridWarp.



Рисунок 1.13 – Інструмент

Даний інструмент використовується це для копіювання даних між сусідніми кадрами або копіювання між Source Grid та Destination Grid.

Копіювання крапок ключових кадрів між Source Grid та Destination Grid необхідне в наступному випадку: коли змінюємо крапки в Destination Grid

треба щоб, картинка не деформувалась в Source Grid. Це можливо, коли сітки в обох режимах співпадають.

Кожна сітка складається з рядків та стовпчиків і для того, щоб з ними працювати, доступна панель інструментів (рис.1.14).



Рисунок 1.14 – Панель інструментів ноди GridWarp

Де можна через інструменти змінювати місця розташування крапок, додавати чи видаляти кількість стовпчиків та рядків сітки і навіть перемальовувати усю сітку з нуля.

Висновки до розділу 1. В першій частині дослідження визначено два види трансформації зображень - це морфінг та варпінг. Морфінг являє собою такий вид обробки зображень, який дозволяє створити ілюзію плавного перетворення одного зображення в інше. Розглянуто як працює морфінг в найпростішому випадку, коли використовується всього одна польова лінія. Визначено, що головна умова створення якісного морфінгу – це вибір відповідних зображень, тобто таких, які містять між собою взаємозв'язок. Технологія варпінгу схожа за своїм кінцевим результатом з морфінгом, але варпінг відрізняється, перш за все, математичними перетвореннями і проміжними змінами в зображенні.

Відмічено, що в процедурах варпінгу можна виділити декілька видів елементів викривлення - це скручування, згинання та конусність.

2 ВАРПІНГ. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ

В цій частині дослідження проаналізуємо програмні інструменти, які доступні користувачу в пакеті Nuke для проведення процедури варпінгу [4,5]. Враховуючи те, що процедуру варпінгу можна вважати похідною до трансформації зображень за морфіном, то наведені особливості дозволяють надалі більш детально описати морфінг зображень на прикладі обраних секвенцій.

2.1 Програмні особливості варпінгу зображення

Варпінг можна описати як технологію перетворення плоского зображення, де на основі математичних співвідношень і формул, спочатку на саме зображення накладається сітка з вузлів, яка поділяє це зображення на ряд прямокутників. При цьому, як було вже відмічено у першому розділі дипломної роботи, окремі вузли сітки можна переміщувати. В результаті цього, відбувається зміщення найменших елементів зображення, тобто деформація зображення. І роль програмного продукту і як раз полягає у тому, щоб згенерувати проміжні положення цих найменших елементів зображення у випадку зміщення від свого оригінального розташування. В рамках практичної частини дослідимо які можливості можна визначити у програмному пакеті Nuke на етапі варпінгу обраного зображення.

Для реалізації цієї технології користувачу, як вже зазначалось вище доступні 2 ноди - нода GridWarp та нода SplineWarp.

Розглянемо спочатку програмні особливості ноди GridWarp і для цього змодельуємо просту нодову схему, яка показана на рисунку 2.1. В цьому плані слід підкреслити, що підключення цієї ноди до зображення спричиняє появу відразу сітки з крапками, які можна переміщувати (рис.2.2).

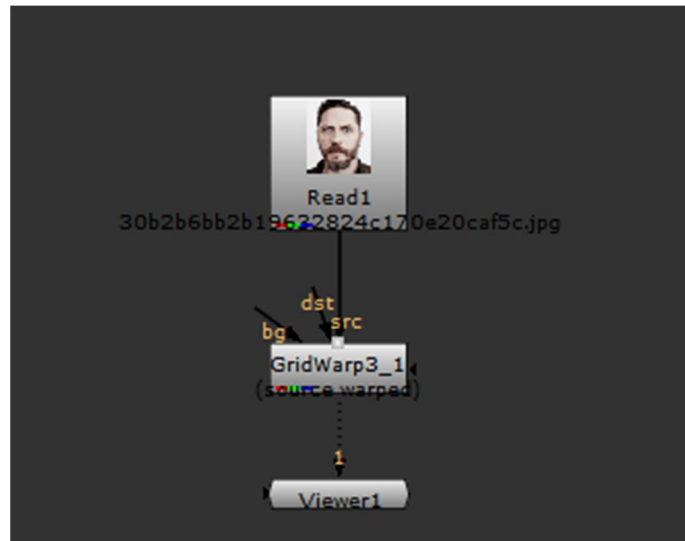


Рисунок 2.1 – Нодова схема



Рисунок 2.2 – Зображення в панелі Viewer

В особливостях роботи цієї ноди слід підкреслити ту обставину, що на основі її налаштувань можна задати область, де програма буде брати крапки для трансформації і можна визначити область, куди ці крапки будуть переміщені. Крім цього, наявний інструментарій програми дозволяє повністю перебудувати сітку, додати або видалити крапки сітки, або взагалі намалювати нові вертикальні або горизонтальні лінії. Іншою ознакою цієї ноди і є те, що будь-яку крапку сітки можна анімувати через встановлення ключових кадрів. Тобто, деформація зображення може проходити за певним законом руху крапок при відтворенні секвенції. У свою чергу такі можливості дозволяють розробникам визначити нові візуальні ефекти з

викривлення зображень, скручування зображень, тощо. Тут слід відмітити, що відповідні математичні трактування цих деформацій пікселів було наведено в першому розділі роботи.

Дві області розташування крапок сітки, як вузлів перетину відповідних ліній структури мають відповідні покажчики “visible”/”locked”. Там, де встановлено показник “visible”, та сітка з вузлами і буде відображатись на екрані Viewer. На основі рис.1.8 можна відмітити, що “Visible” Destination Grid – сітка, куди необхідно трансформувати (зміна крапок сітки – зміна зображення). У той час, коли “visible” Source Grid - сітка, звідки необхідно трансформувати картинку.

Налаштуємо в режимі “visible” окремі крапки Destination Grid так, щоб через зміну положення крапок сітки відбулась зміни зображення. Результат такої трансформації наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Деформація підключеного зображення в панелі Viewer

Остаточно можна і далі змінювати положення крапок по відношенню до їх вихідного розташування в межах сітки з рис.2.2. Провівши певні

маніпуляції в програмі отримуємо дві трансформовані копії вихідного зображення з рис.2.2. Результат трансформації наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Деформація зображення

Далі розглянемо програмні особливості до того ж самого оригінального зображення з рисунку 2.2 але у випадку підключення ноди SplineWarp.

Ця нода відрізняється від ноди GridWarp тим, що для варпінгу процедура трансформації використовує криві замкнені лінії, так звані BSpline, тобто для користувача доступні інструменти ротоскопінгу. Аналогічні інструменти за певним виключенням співпадають і для нод створення масок – Roto, RotoPaint [6]. Використовуючи панель з рис.1.10 за допомогою інструменту BSpline створимо дві маски. Сама трансформація зображень відбувається через використання кнопки-інструменту “Join Tool”, яка вже згадувалась в першому розділі роботи. Ця кнопка активує інструмент же, спочатку необхідно обрати область (контур з кривих ліній), звідки будуть трансформуватись крапки в межах варпінгу. Після цього цим же інструментом необхідно вказати область, куди ці обрані крапки необхідно перемістити. Проведемо певні маніпуляції на основі цієї кнопки з зображенням з рис.2.2. При цьому вибір областей проведемо для маленької області трансформації і для області, яка займає майже всю площину

зображення. Результати цієї процедури показано на рисунках 2.5 та 2.6 відповідно.

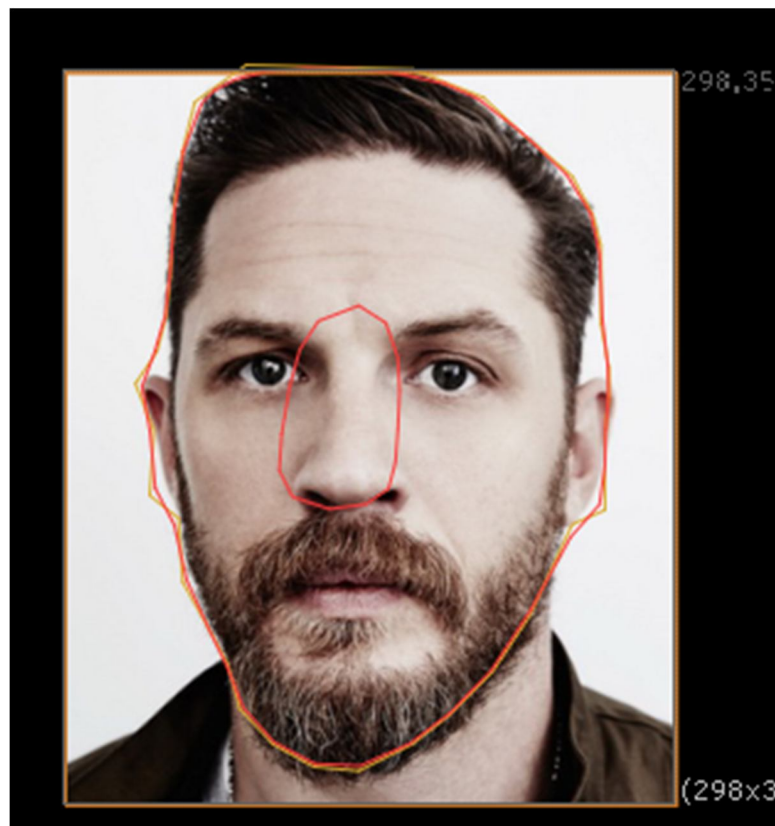


Рисунок 2.5 – Програмна деформація

Для доопрацювання зв'язку трансформацій зображень через визначені області зміщення крапок в межах програми Nuke користувачу доступна група інструментів “Add Correspondence Point” (рис.2.7). Інструмент “Add Correspondence Point” – додавання додаткових крапок зв'язку областей. Інструмент “Remove Correspondence Point” – навпаки руйнування ліній зв'язку між контурами.



Рисунок 2.6 – Програмне спотворення зображення на основі кнопки “Join Tool” та створених областей

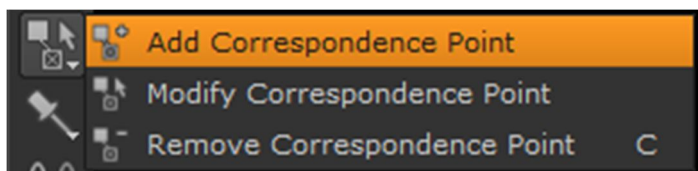


Рисунок 2.7 – Додаткові інструменти варпінгу

Створені замкнені лінії на основі, наприклад, кривих BSpline відображаються в налаштуванні ноди у формі рядків в окремій області (рис.2.8). У першому та другому стовпчиках відображаються зв'язки, тобто які лінії між собою взаємодіють. Літера “A” – активовано вхід “A”, оскільки обрано при цьому *output: A warped*.

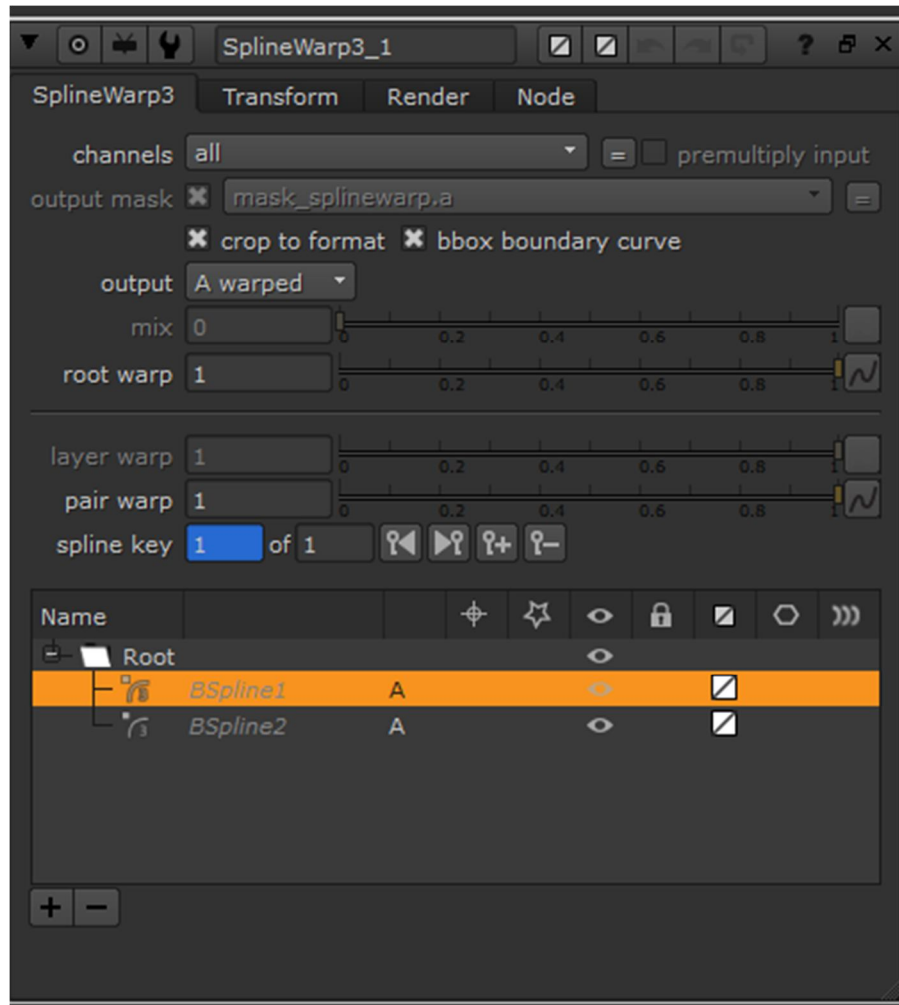


Рисунок 2.8 – Налаштування ноди SplineWarp

Аналізуючи інструменти з рисунку 2.8 слід відмітити два останні стовпчики, там де відображаються створені криві лінії. Насамперед це стовпчики у формі п'ятикутника та піктограми у формі трьох дужок. Протестуємо ці інструменти на зображенні з рис.2.2. Ці елементи визначають обмеження для двох кривих, об'єднаних через інструмент Join Tool (одна крива перекинута в іншу через функцію “Duplicate in A and join”). Тобто, визначаючи ще другу зовнішню криву можна в процесі варпінгу обмежити за контуром деформацію двох створених раніше. При чому, обмеження може бути або жорстким (це передостанній стовпчик) або м'яким (останній стовпчик з рис.2.8).

Наприклад, крива Bspline2 встановлена за іконкою п'ятикутника буде жорсткою межею роботи інших спотворень, деформацій зображення. Ззовні

цієї кривої не буде деформації. Або навпаки, якщо деформація ззовні, то всередині не буде деформації (рис.2.9).



Рисунок 2.9 – Результат додаткових налаштувань ноди SplineWarp

Результат деформації у випадку за м'яким обмеженням наведено на рисунку 2.10.

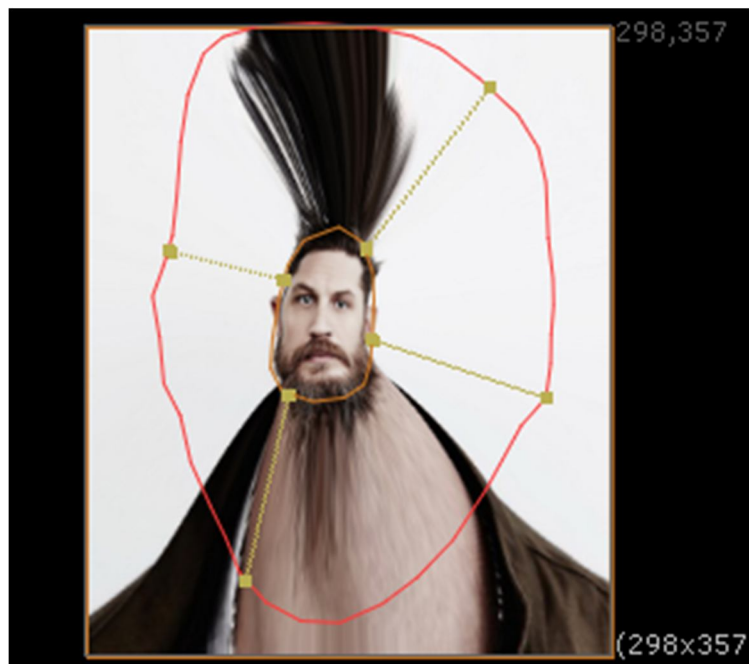


Рисунок 2.10 – Результат м'якого обмеження BSpline ноди SplineWarp

Висновки до розділу 2. В практичній частині дипломної роботи буде проведено дослідження програмних інструментів для реалізації технології варпінгу. Відмічено, що частин доступний інструментів є подібною до інструментів для технології ротоскопінгу зображень. На прикладі тестового зображення визначено особливості з деформації найменших елементів цього зображення. Наведено алгоритм, за яким можна самостійно провести різні деформації зображення, математичний опис яких був наведений в першому розділі дипломної роботи.

3 МОРФІНГ. ПРАКТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ

В рамках практичної частини дослідження проведемо аналіз повільного перетворення одного зображення в інше. Іншими словами, проаналізуємо як налаштовується процедура морфінгу зображень. Причому, в даному випадку використаємо для наочності та деталізації практичного експерименту нодові інструменти програмного пакету NukeX.

3.1 Вихідні дані до завдання

В якості вихідних даних для проведення процедури морфінгу виберемо два набори візуальних матеріалів. В першому випадку візьмемо два зображення маски актора, яку необхідно повільно перетворити з однієї форми в іншу. Графічні зображення цих масок показано на рисунках 3.1 та 3.2 відповідно. При цьому важливо показати механізм трансформації окремих елементів зображення.



Рисунок 3.1 – Перше зображення (початкове зображення при морфінгу)



Рисунок 3.2 – Друге зображення (кінцеве зображення при морфінгу)

Для другого випадку в межах практичного експерименту візьмемо вже не статичні зображення, а два відеоролики, де людина на зеленому фоні поступово повинна перетворитись в іншу людини. Ці зображення наведено відповідно на рисунках 3.3 та 3.4 відповідно. При цьому, щоб виявити особливості процедури морфінгу, нехай людина при програванні секвенції буде ще повертати голову. Іншими словами, в морфінгу необхідно забезпечити не просто заміну одних пікселів на інші, а й ще дослідити особливості переміщення цих пікселів [7]. Тривалість першого відеоролику визначено величиною у 488 кадрів при частоті відтворення 24 кадри/сек. Результуючий відеоролик з іншою людиною, тобто те, що буде в кінці процедури трансформації показано на рисунку 3.4. Зазначимо, що обидва ролики мають формат картинки HD_1080 (1920×1080 pix) і розширення .mov. Крім цього, задля визначення деталізації процедури, у другому відеоролику, на відміну від першого, людина не лише повертає голову, але й поступово виходить з кадру, починаючи зі 184 кадру секвенції.



Рисунок 3.3 – Вихідний відеоролик (скриншот першого (верхній рисунок) і 488 (нижній рисунок) кадрів секвенції)

Наведені візуальні матеріали будуть завантаженні в програмний пакет NukeX. Після цього, для аналізу будуть використані ноди SplineWarp та GridWarp в режимі морфінгу. Зрозуміло, щоб показати повільну трансформацію зображень будуть залучені ще й прийоми анімації певних параметрів зазначений нод.



Рисунок 3.4 – Результируючий відеоролик (скриншот першого (верхній рисунок) і останнього (нижній рисунок) кадрів секвенції)

3.2 Особливості морфінгу при статичних зображеннях

Для першої трансформації зображень, які показано на рисунках 3.1 та 3.2 відповідно використаємо ноду GridWarp. Виходячи з особливостей зазначеної ноди, які описано в першому розділі дипломної роботи, до входу

src підключимо рисунок 3.1, а до входу *dst* підключимо рисунок 3.2. Створена нодова схема наведена на рисунку 3.5. Крім цього, до входу *bg*, підключимо фон на основі певного сірого кольору з ноди Constant.

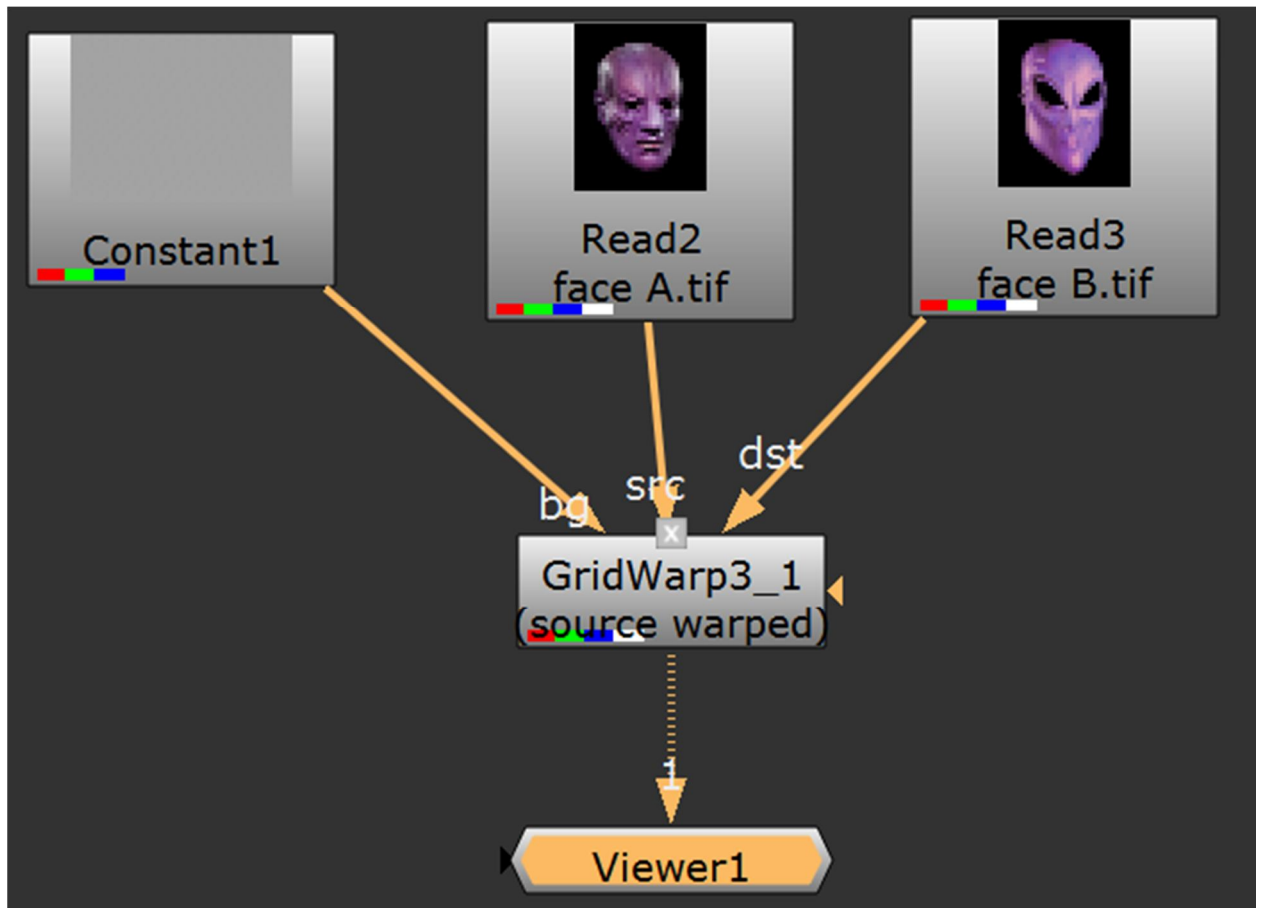


Рисунок 3.5 – Нодова схема до першого практичного експерименту

Після цього, саму ноду GridWarp слід переключити в режим роботи морфінгу. Для цього у налаштуваннях цієї ноди в області Settings у полі output слід встановити значення *morph* (рис.3.6).

Для того щоб провести морфінг двох підключених зображень, необхідно встановити анімацію параметрів (параметри *warp* та *mix*) в області Settings ноди GridWarp. Основне завдання процедури морфінгу – налаштувати ключові крапки (деформовані крапки сітки) однієї картинки (зображення 3.1) відносно крапок другої картинки (зображення 3.2).

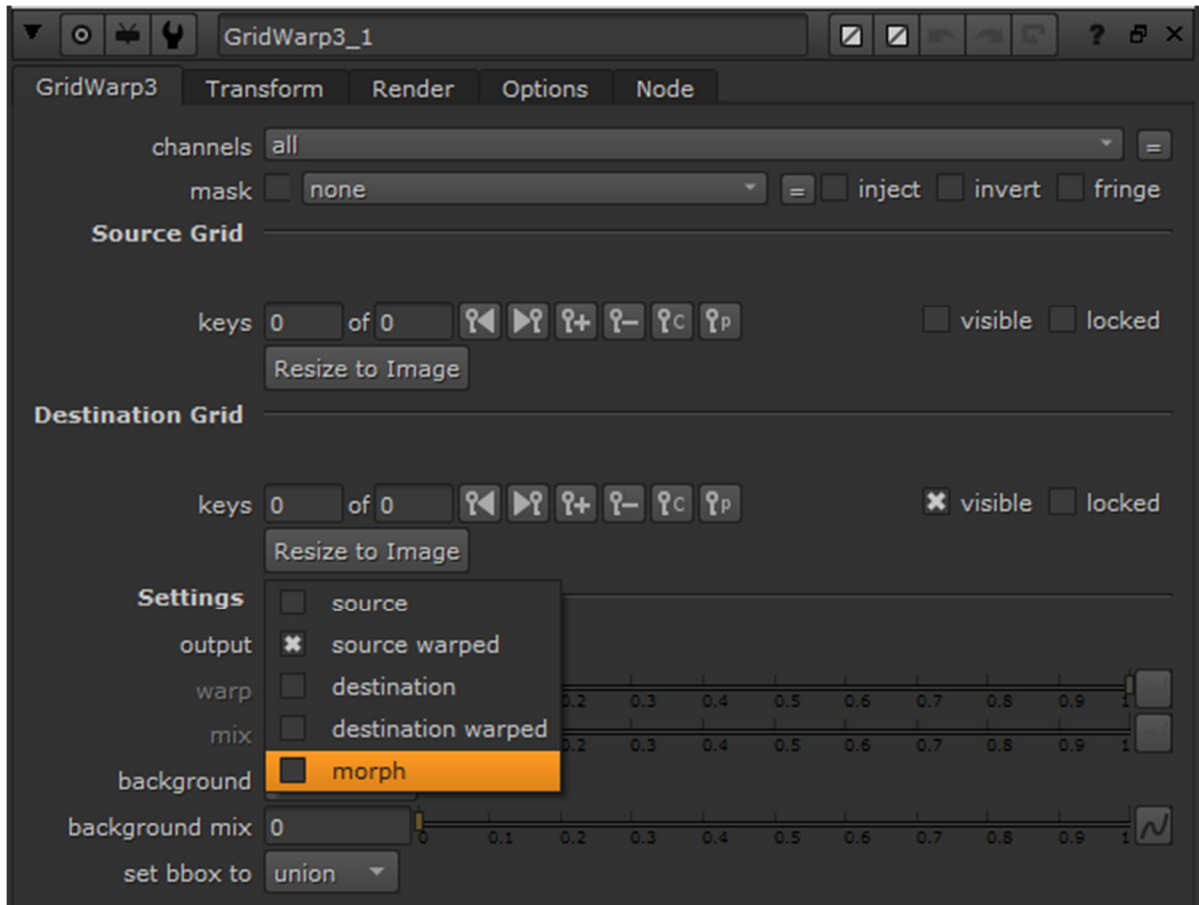


Рисунок 3.6 – Переведення ноди в режим морфінгу зображень

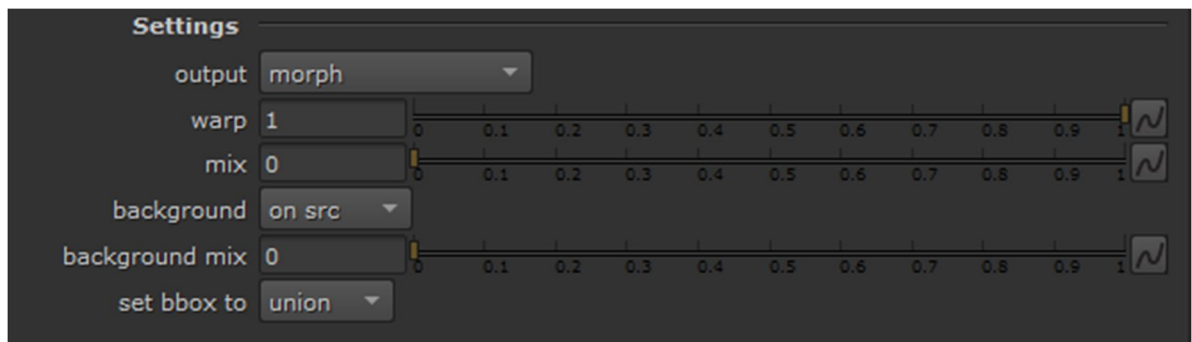


Рисунок 3.7 – Налаштування ноди

Тобто, можна сформувавши загальний алгоритм процедури морфінгу [1]:

1. Підключення у вікні Viewer ноди GridWarp до виділеної картини входу *src* (рис.3.1);
2. Для картини входу *src* видаляємо усі надані лінії сітки (вона візуалізується автоматично в програмі) і додаємо через інструмент

лише ті лінії, які необхідні і які визначають певні характерні риси зображення;

3. Підключаємо другу картинку на вхід *dst* ноди (рис.3.2) і переходимо в режим *destination*, включаємо у налаштуваннях Destination Grid (покажчик “visible”) і змінюємо місце розташування цих крапок з п.2 алгоритму.
4. Встановлюємо анімацію двох регуляторів ноди – “*warp*” та “*mix*”.

Регулятор “*warp*” змушує за алгоритмом роботи ноди трансформувати одне зображення в інше зображення. Тоді як, параметр “*mix*” як параметр “*dissolve*” проявляє як для фотоплівки друге зображення і ховає перше зображення і коли “*mix*”=1 (при цьому параметр *warp*=0) відбувається трансформація зображень.

5. Проводимо анімацію параметрів *warp* та *mix* – з першого кадру секвенції (кадр на рисунку 3.1) – (ключового) значення цих параметрів дорівнюють “0”. В останньому кадрі (рисунок 3.2) секвенції значення параметрів вказуємо рівними “1”. В результаті цієї секвенції картинка буде трансформуватись та проявлятись одночасно.

Оскільки, для першого практичного експеримент ми маємо справу з двома статичними зображеннями, то для спрощення встановимо анімацію параметрів тривалістю 50 кадрів при частоті зміни кадрів 24 кадри/с. Встановлена анімація параметрів на 1,10, 20, 30, 40 та 50 кадрах та проміжні зображення трансформації показані на рисунках 3.8-3.11. Відмітимо, що за особливостями роботи ноди GridWarp режим візуалізації сіток був відключений і трансформація відбувалась за усім наявними крапками зображень.

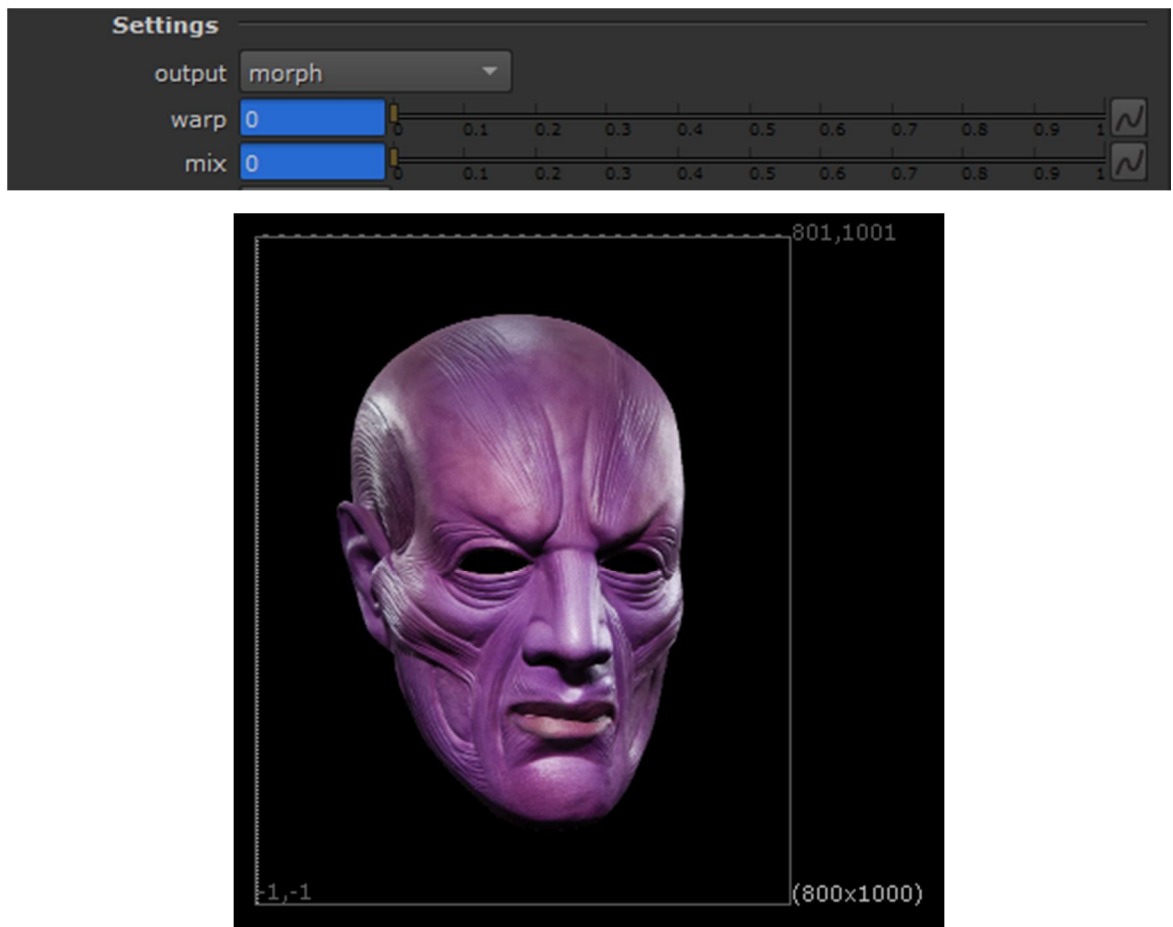


Рисунок 3.8 – Значення параметрів анімації та зображення в екрані Viewer
(1 кадр)



Рисунок 3.9 – Зображення в екрані Viewer (10 кадр та 20 кадр)



Рисунок 3.10 – Зображення в екрані Viewer (30 кадр та 40 кадр)

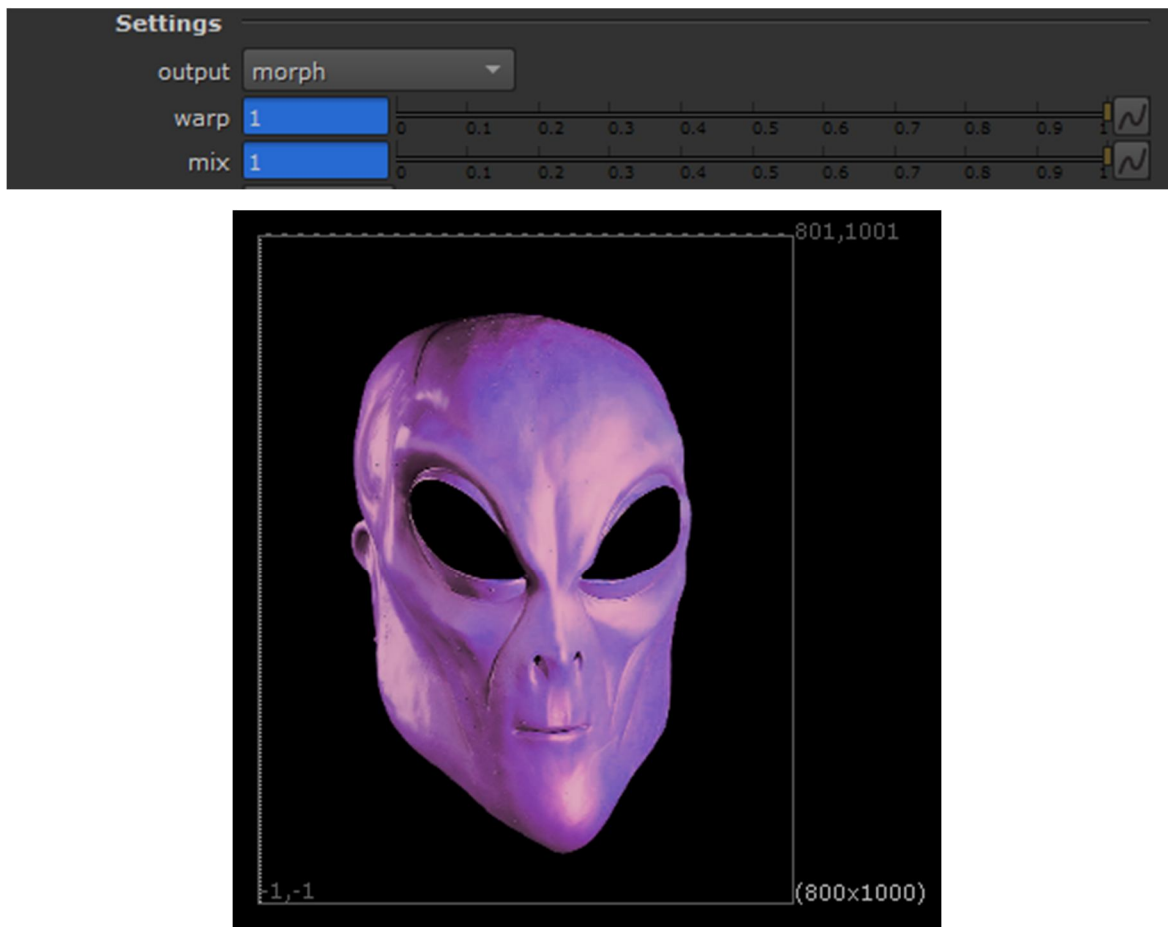


Рисунок 3.11 – Значення параметрів анімації та зображення в екрані Viewer (50 кадр)

Аналізуючи отримані зображення з рис.8-3.11 можна помітити повільну трансформацію одного зображення в інше упродовж 50 кадрів програвання секвенції.

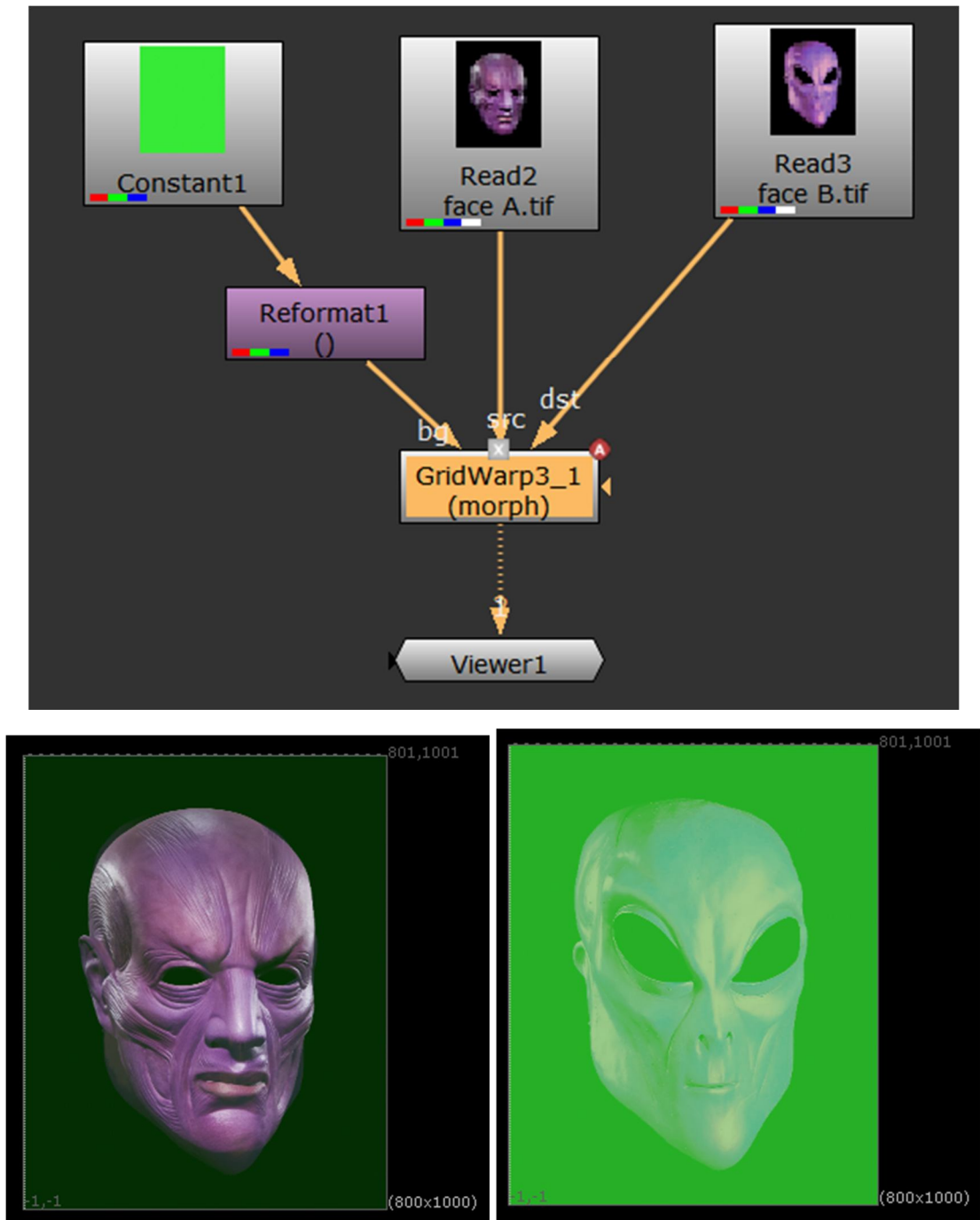


Рисунок 3.12 – Модифікація нодової схеми

Оскільки, до переліку входів ноди GridWarp входить і вхід bg, то можна модернізувати схему з рис.3.5, виконавши анімацію і зміни фону при

трансформації зображень (анімація параметру background mix). Результат цього ефекту показано на рисунку 3.12. Відмітимо, що нода Reformat використовується в схемі заради суміщення форматів зображення фону та підключених зображень.

3.3 Особливості морфінгу для відеосеквенцій

Ускладнимо трошки умови практичного експерименту з проведення морфінгу і підключимо в якості візуальних матеріалів два відеоролики, кадри з яких наведено на рисунках 3.3 та 3.4. Для того щоб протестувати наявні інструменти програми Nuke на відміну від пункту 3.2 підключимо для процедури трансформації ноду SplineWarp. Як вже було зазначено, в розділі 1 дипломної роботи ця нода має лише два входи А та В. Приймемо, що до входу А варто підключити відеоролик з рисунку 3.3. Тоді як, до входу В буде підключено матеріал, який відповідає рис.3.4. Створена нодова схема для проведення процедури морфінгу наведена на рисунку 3.13.

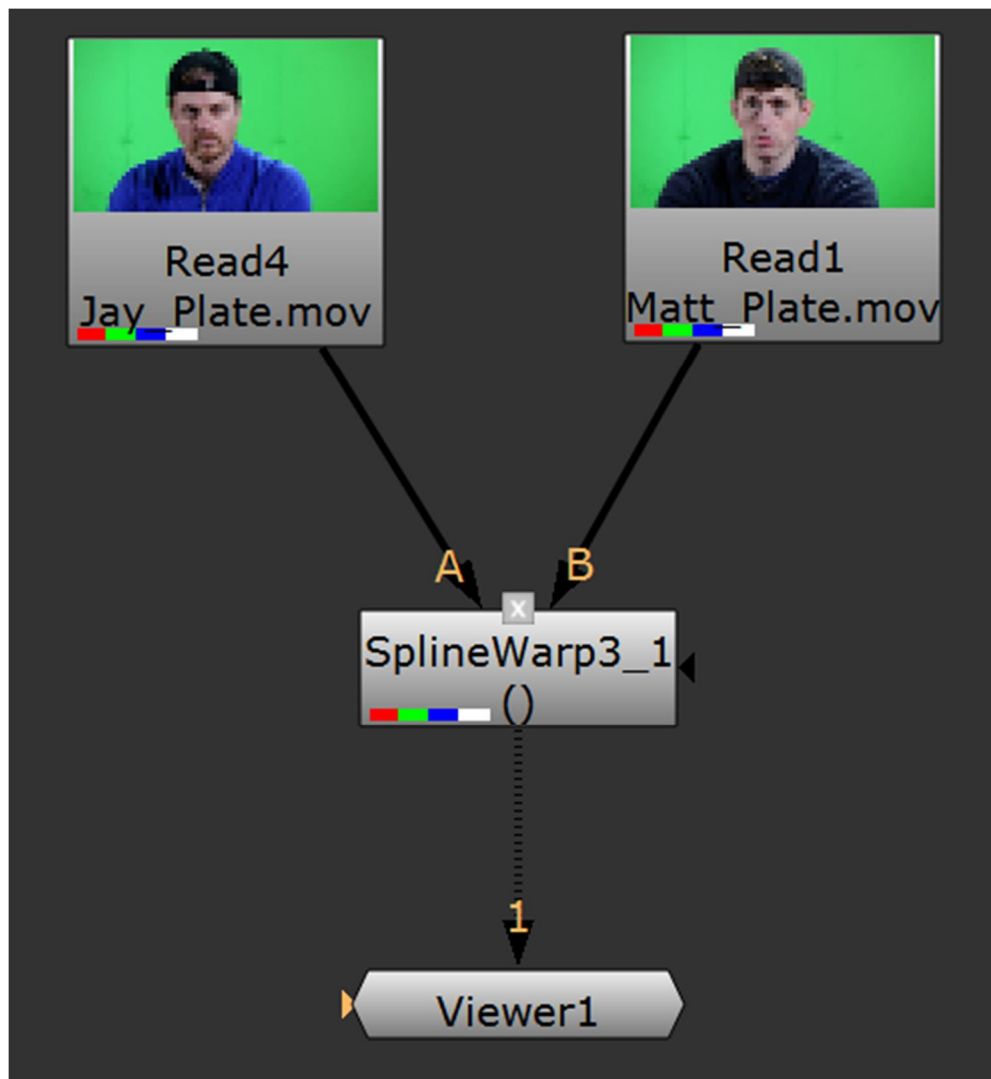


Рисунок 3.13 – Нодова схема до другого експерименту

Як і для ноди GridWarp, ноду SplineWarp слід перевести теж в режим морфінгу. Для цього, у налаштуваннях ноди в полі output слід обрати режим AB morph (рис.3.14).

Процедура морфінгу дуже схожа на попередній наведений алгоритм, за виключенням того, що в даному випадку необхідно оперувати параметрами “mix” та “root warp”. Наведемо алгоритм проведення морфінгу у випадку підключення відео секвенцій. Нагадаємо, що тривалість секвенцій визначена у 488 кадрів при частоті кадрів 24 кадри/с.

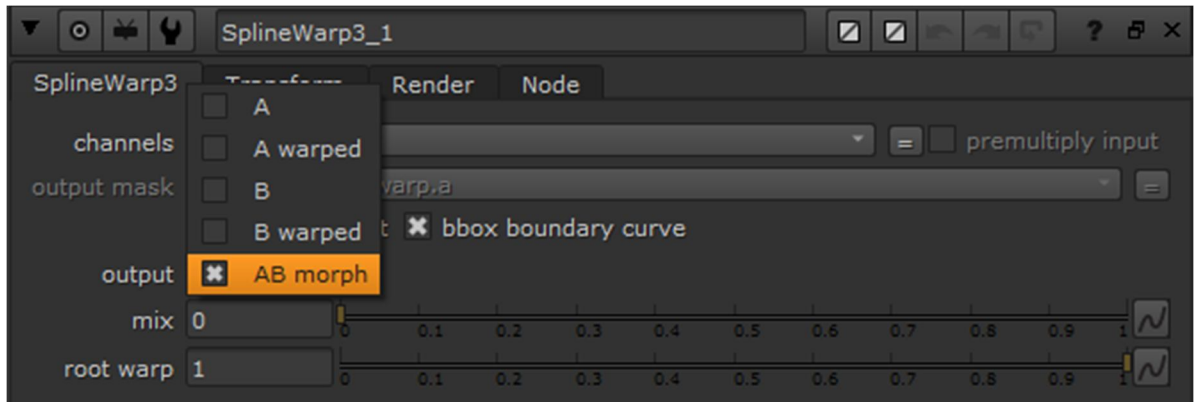


Рисунок 3.14 – Налаштування ноди

Отже, алгоритм проведення морфінгу наступний [1]:

1. Підключення у вікні Viewer ноди SplineWarp до виділеної картинки входу A (рис.3.3);
2. Підключаємо другу картинку на вхід B ноди (рис.3.4).
3. Встановлюємо анімацію двох регуляторів ноди – “*root warp*” та “*mix*”.

Регулятор “*root warp*” змушує за алгоритмом роботи ноди трансформувати одне зображення в інше зображення. Тоді як, параметр “*mix*” як параметр “*dissolve*” проявлення фотоплівки у друге зображення і ховає перше зображення, тобто коли “*mix*”=1 (при цьому параметр *root warp*=0) відбувається трансформація зображень.

4. Проводимо анімацію параметрів *warp* та *mix* – з першого кадру секвенції (кадр на рисунку 3.1) – (ключового) значення цих параметрів дорівнюють “0”. В останньому кадрі (рисунок 3.2) секвенції значення параметрів вказуємо рівними “1”. В результаті цієї секвенції картинка буде трансформуватись та проявлятись одночасно.

Оскільки, у нас для другої секвенції актор починає виходити з кадру в середині програвання на 179 кадрі, то визначимо процедуру проведення морфінгу лише на інтервалі від 1 кадру до 179 кадру. Для цього підключимо до схеми на рисунку 3.13 додаткові ноди FrameRange (рис.3.15).

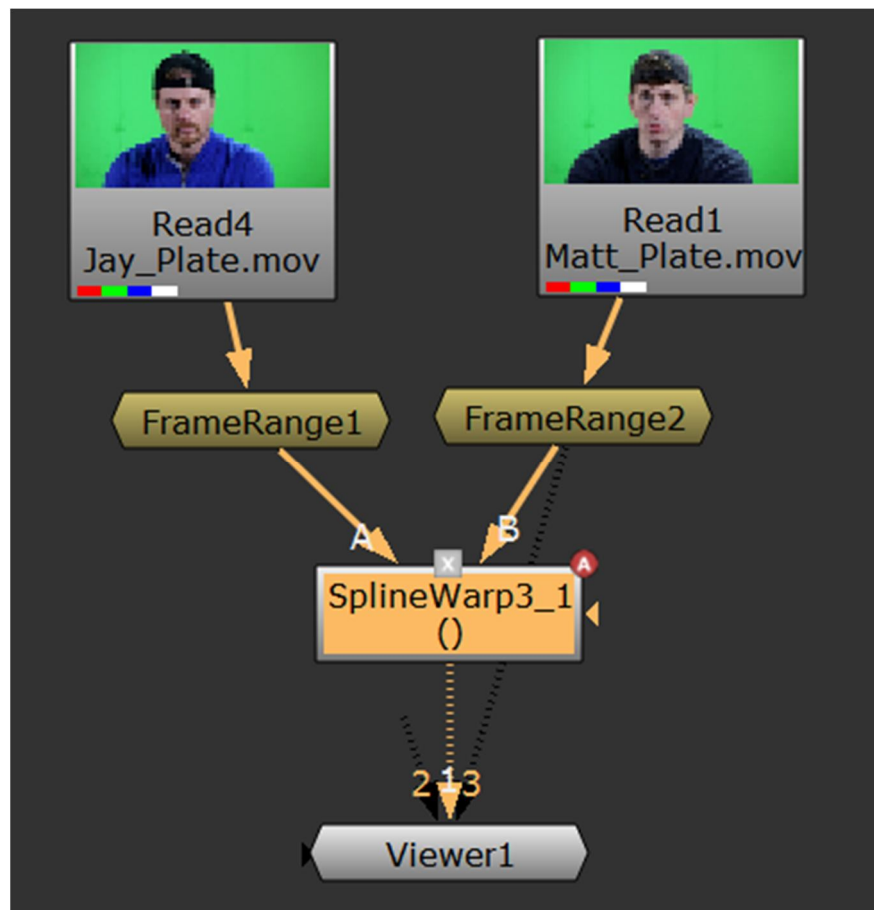


Рисунок 3.15 – Змінена нодова схема

Відмітимо, що в рамках даного практичного експерименту визначено не лише заміна зображення, але й трансформація з рухом, що є фактично додатковою процедурою при морфінгу. Результати трансформації зображень на 1,11, 36, 54, 70,93 кадрах наведено на рисунках 3.16-3.18.



Рисунок 3.16 – Зображення в екрані Viewer (1 кадр та 11 кадр)



Рисунок 3.17 – Зображення в екрані Viewer (36 кадр та 54 кадр)



Рисунок 3.18 – Зображення в екрані Viewer (70 кадр та 93 кадр)

Аналіз отриманої трансформації зображень дозволив виявити наступні умови для проведення операції морфінгу. По-перше, при проведенні процедури морфінгу підключені відеосеквенції повинні бути синхронізовані по-кадрово. Тобто, об'єкти в кадрі двох зображень повинні співпадати за основними крапками – контур фігури, розмір об'єктів. Така розбіжність особливо помітна на рис.3.17 (36 кадр), коли праве вухо акторів розташовано

в інших координатах для двох зображень. По-друге, відеоматеріал за тривалістю трансформації зображень повинен співпадати з точністю до 1 кадру. Для даного прикладу довелось фактично виділити певний діапазон кадрів для процедури морфінгу, шляхом підключення ноди `FrameRange`.

Висновки до розділу 3. В практичній частині дослідження було протестовано дві програмні ноди, які дозволяють провести процедуру морфінгу. Відмічено, що процедура трансформація простіша при використанні ноди `SplineWarp`, але тут слід враховувати спотворення зображення, наприклад формування окантування об'єкту. На основі отриманих результатів морфінгу були сформульовано певні вимоги до контенту, який використовується при трансформації.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз програмних засобів програмного пакету Nuke, які дозволяють для обраних двох зображень (одиначні або секвенція кадрів) реалізувати ефект повільного перетворення одного зображення в інше зображення.

В рамках дипломної роботи проведено дослідження можливостей реалізації процедури морфінгу для тестових зображень з можливостями корегування параметрів процедури. На основі проведених досліджень отримано такі результати:

1. З'ясовано, що для проведення якісного морфінгу найголовнішою умовою є вибір відповідних зображень, які містять між собою взаємозв'язок. Цей зв'язок може визначатись або подібними формами об'єктів чи габаритними розмірами, або однаковим розташуванням опорних крапок трансформації. Наприклад, при морфінгу людей області зображення, що представляють собою овал обличчя, зачіска, очі, вуха, ніс, рот тощо, повинні бути змінені так, щоб вони були узгоджені з відповідними областями в зображенні другої особи.

2. Різниця між морфінгом і варпінгом полягає у тому що, морфінг створює ілюзію повільного переходу одного зображення в інше. А в варпінгу відразу відображається кінцевий результат трансформації. Крім цього, варпінг відрізняється від морфінгу математичними перетвореннями, які залучені для його реалізації, а також змінами в зображенні.

3. В рамках практичної частини дослідження створено нодові схеми для пари статичних зображень та пари відеороликів. Знайдено, що з точки простоти налаштування кращою є нода GridWarp, оскільки при її підключенні немає необхідності використовувати засоби ротоскопінгу.

4. Аналіз отриманої трансформації динамічних зображень на основі підключених відеороликів з зображенням двох осіб дозволив виявити наступні умови для проведення операції морфінгу. По-перше, при проведенні

процедури морфінгу підключені відеосеквенції повинні бути синхронізовані по-кадрово. Тобто, об'єкти в кадрі двох зображень повинні співпадати за основними крапками – контур фігури, розмір об'єктів. І по-друге, відеоматеріал за тривалістю трансформації зображень об'єктів повинен співпадати між собою з точністю до 1 кадру.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи цифрового композитингу в сучасному кіновиробництві : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей» / К. О. Трапезон, Г. Г. Власюк. – К. : ФОП Ямчинський О.В., 2019. – 330 с.
2. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Красильников Н. Н. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 608 с. ISBN:978-5-9775-0700-4.
3. P. Shirley, Fundamentals of Computer Graphics., Taylor Group: CRC Press, 2009, p. 785. ISBN-13: 978-1439865521.
4. R. Gambar, Nuke 101. Professional Compositing and Visual Effects (1st Edition)., Berkeley: Peachpit Press, 2011, p. 404. ISBN-13: 978-0321733474.
5. R. Gambar, Nuke 101. Professional Compositing and Visual Effects (2nd Edition)., Berkeley: Peachpit Press, 2014, p. 380. ISBN-13: 978-0321984128.
6. B. Bratt, Rotoscoping. Techniques and Tools for the Aspiring artist., London: Elsevier, 2011, p. 283. ISBN: 978-0240817040.
7. S. Wright, Digital Compositing for Film and Video., Burlington: Focal Press, 2013, p. 475. ISBN-13: 978-0240813097.

ДОДАТОК А
SUMMARY

Morphing is a type of image processing that allows you to create the illusion of a smooth transformation of one image into another. In order to perform such a transformation, on the original document to be converted, and on the final image, in which the original is to be converted, the corresponding areas are selected, which are converted into each other. These areas can be quite a lot. Morphing can be performed either with one image or with two images. In the first case, the converted image is a distorted copy of the original. However, in practice, the second case is more often used, in which morphing is used to create the illusion of a gradual transition from one image to another.

Usually, when morphing as the original and final images use still images, but in the General case can be used and sequences of frames, which are moving images.

Consider as an example of morphing still images the procedure of transforming one person into another. In this case, the shape of the first person, namely the areas of the image that represent the oval face, hairstyle, eyes, ears, nose, mouth, etc., must be changed so that they are consistent with the corresponding areas in the image of the second person.

This coordination of the respective areas is achieved by contouring them with the help of so-called field lines. These lines are not required to be interconnected, and moreover, the opposite is often required in order for the individual parts of the image to be transformed independently.

Consider the simplest case when morphing uses only one field line. Imagine that this line is drawn through the center of the original image horizontally. In the image to which the original image is converted, this line will also be placed horizontally by the morphing program. Now take and rotate this line vertically in the final image. When you run the program, rotating the field line will rotate the entire image 90 degrees. By changing the length of the field line on the final image relative to the line length of the original image, you can compress or stretch it. Usually when morphing is used not one but many field lines.

Suppose we want to use morphing to turn an ordinary oval face into a square face, as was once demonstrated on television in one of the commercials. To do this, you should outline the contours of the oval face on the original document, and in the final image, the field lines should be arranged so that they form a square, and the rest will do the program. Thus, field lines are a tool with which we can change the size and shape of individual areas and even the whole image as a whole. At work the morphing program automatically creates a number of intermediate images thanks to what at demonstration of the formed sequence of frames the illusion of smooth transformation of the initial image into final is created.

The most important condition for creating high-quality morphing is to choose the appropriate images, i.e. those that contain the relationship.

Warping is an image transformation technology that resembles morphing in its end results, but warping differs from morphing primarily in the mathematical transformations used to implement it, as well as changes in the image.

During the warping procedure, a grid is superimposed on the image, which divides the image into a series of rectangular areas.

In this case, each grid node formed by the intersection of horizontal and vertical lines can be moved with the mouse relative to its original position. Moving the grid node causes a shift of the pixels of the image on which the grid is superimposed, and the closer the pixel is to the grid node, the other things being equal, it shifts more. It turns out that the effect resembles the deformation of the image drawn on the rubber membrane during its local stretching. In warping, as in morphing, the program generates a sequence of intermediate images, which creates a slow transition of the image to its "intentionally" distorted copy. Nowadays, there are a number of programs designed to perform morphing and warping, starting with the world-famous Nuke program.

The basis of the warping procedure is a continuous function $w(x, y, z)$, which maps R^3 to R^3 . It is assumed that a curved space can be compared to a clear, flexible, plastic parallelepiped in which the objects to be curved are

embedded. The curved element can be determined using some basis function $w(p)$ to the equation

The curved element can be completely characterized by the value of the distance to its function $d_i(x, y, z)$, its filter through the function $g_i(r)$, and, finally, its main function $w_i(x, y, z)$. There are the following types of curvature of the test element such as "chewing gum":

- Twisting. In this example, rotation about the z axis by θ on three mixed implicit cylinders with a twisted base.

- Taper. The cone is used along one main axis. The linear cone is the most useful, although square and cubic cones are easy to implement. For example, the linear taper along the y axis includes a change in x -, z -coordinates. And for y between $y_{\max}$ and $y_{\min}$ the linear scale is applied:

- Bending. Bending is also applied along one main axis. The bending velocity k is measured in radians per unit length, the bending axis is $(x_0, 1/k)$, and the angle θ is defined as $(x - x_0) \times k$.

Thus, the difference between morphing and warping is that, morphing creates the illusion of a smooth transition from one image to another, and you can work with one or two images. And in warping the final result is displayed at once. Warping differs from morphing by mathematical transformations that are involved in its implementation, as well as changes in the image

Let's consider how it is possible to make procedure of morphing and warping over test images, using thus tools and nodes of the specialized Nuke software package.

With this node in the program you can perform a morphing operation on selected images. Yes, the node must be connected to the image immediately when adding Nuke to the NodeGraph panel. This condition is due to the fact that when the active image will be connected and certain manipulators from the GridWarp node. So after connecting the image to the node, the surface of the image will immediately show a special grid of individual hotspots.

Analyzing the properties of the GridWarp node, we can emphasize the presence of two node fields - the grid "Source Grid" and "Destination Grid". The "Source Grid" field is the area whose grid is responsible for the points from which we transform. "Destination Grid" is the area whose grid is responsible for the points where we transform.

In the settings of the GridWarp node in the GridWarp tab, there are different modes of operation in Warp (output field):

- "source warped" - set the procedure for warping the original image. In this case, the original image is what is connected to the "src" input of the GridWarp node;
- "destination warped" - the same warping procedure as source warped, but with an image connected to the "dst" input of the node;
- "source" - simply in the Viewer the image which is connected to an input "src" of a node is visualized;
- "destination" - simply in the Viewer the image which is connected to an input of "dst" of a node is visualized.
- "morph" - morphing mode.

It differs from the GridWarp node in that the warp and morph modes use closed line curves, ie rotoscoping tools. But this node has its own tools for working with lines.

The algorithm of SplineWarp node operation is as follows: with the help of the B-Spline tool we create 2 masks. The transformation of images takes place through the use of the tool-tool "Join Tool":

With this tool, we first select the area from which to transform, and then select the area where you want to transform.

The morphing algorithm for the SplineWarp node is as follows:

- create a curve shape in A Warped mode;
- in the list of figures through the right mouse button select the line "Duplicate in B and join" opposite the curve;

- in B Warped mode for the second connected picture we correct the sent figure;
- and switching to the mode in the output item but “AB morph” and changing the parameters “mix” and “root warp” we can see the transformation of images during morphing. These procedures are performed in the practical part of the thesis.

Nuke has the ability to animate grid points for a single sequence frame.

In addition, the program can copy and paste information about all points of keyframes in the settings of the GridWarp node.

This tool is used to copy data between adjacent frames or to copy between Source Grid and Destination Grid.