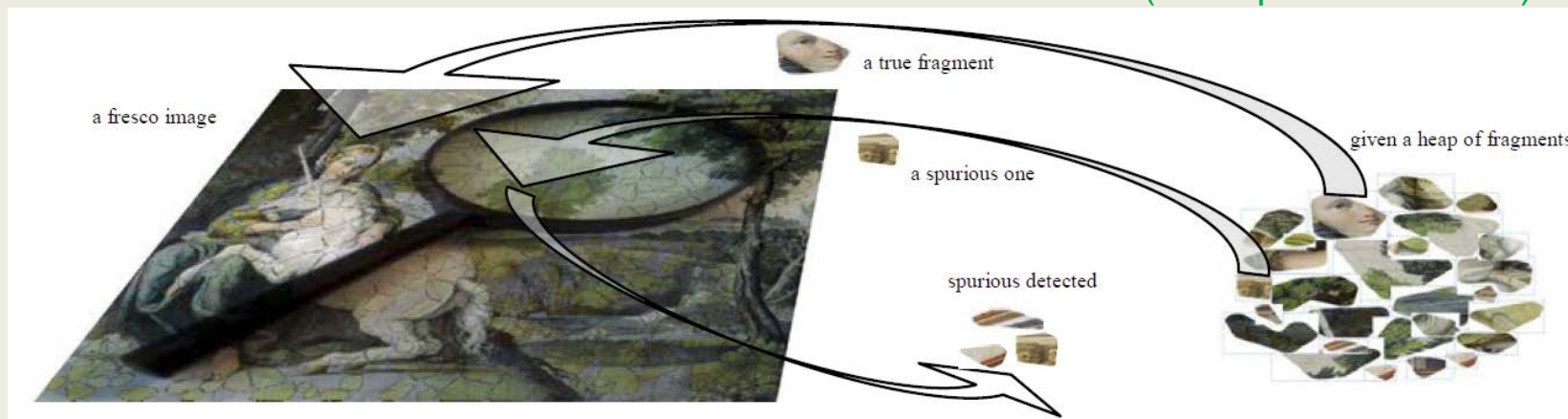


Рестаурация на фрески – приложение RINCCAS-HPC

Rotation-Invariant **NCC** for 2D color matching of Arbitrary Shaped fragments of a fresco, in a **HPC** resources environment of the NI4OS-Europe
(**NCC** = Normalized Cross Correlation)

(a Graphical abstract)



Приложението се разработва от екип на ИИКТ-БАН от 4 изследователи:
Д. Димов, С. Ивановска, К. Алексиев и А. Христов

(презентация, Д. Димов)

- Идеята за участие в проекта NI4OS-Europe.
- RINCCAS-HPC, веб услуга за работа в HPC среда на NI4OS
- RINCCAS и компютърното състезание DAFNE
- Мотивацията за DAFNE и RINCCAS - два показателни примера
- RINCCAS - метод, алгоритъм, програма
- Експерименти с HPC Авитохол
- 3 фрески обработени с RINCCAS
- Заключителна дискусия
- Демонстрация



Една от значимите научни и/или приложни дейности на ИИКТ-БАН е проектът NI4OS-Europe.

ИИКТ-БАН координира участието на България в NI4OS-Europe в сътрудничество с IMI-BAN, като мащабно проучване и анализ на състоянието на «Отворената наука» в Югоизточна Европа; изграждане на тестова среда, средства и механизми за включване на услуги в EOSC каталога; развитие на общи и тематични услуги и др.

(част от експозето на координатора на NI4OS от българска страна: проф. А. Караиванова от ИИКТ-БАН)

RINCCAS-HPC ще бъде услуга, работеща в HPC среда. Услугата ще се основава на метода RINCCAS,

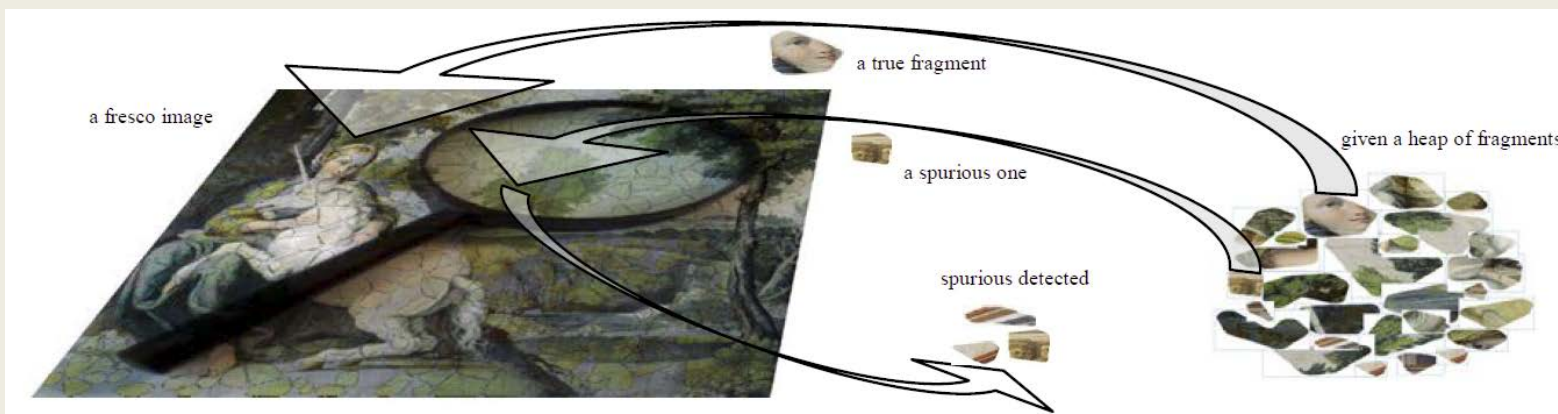
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865520303081>),

който първоначално беше разработен за участие в състезанието DAFNE (Digital Anastylis of Frescos challengeNgE), юни-юли 2019 г.,

(https://vision.unipv.it/DAFchallenge/DAFNE_dataset/),

за цифрова реконструкция на цветна фреска от нейни руини, т.е. набор от нейни фрагменти с произволни форми, често повече или по-малко повредени от времето и вероятно смесени с други, фалшиви фрагменти . Това е добре познат проблем от практиката по опазване на световното културно наследство.

(Графичното резюме, отново)



Компютърното състезание DAFNE беше организирано от Университета на Павия, Италия, в 2 фази:

- регистрация на участниците (15.02-15.05.2019 г.) и тестова фаза (15.02-15.06.2019 г.), предоставяща **база данни с тестови данни и изображения**;
- състезателна фаза (15.06-15.07.2019 г.), предоставяща 3 задачи за виртуална реставрация, т.е. входни изображения на 3 фрески и съответните им набори от фрагменти, някои от които вероятно фалшиви.

Целта на DAFNE беше да се разработят софтуерни инструменти, които да позволят цифрова реконструкция на унищожени/повредени стенописи (фрески), за да се подпомогне тяхното възстановяване чрез решаване на „пъзели“, образувани от наличните им оригинални фрагменти, често смесени с фалшиви фрагменти. Съпътстващата цел на DAFNE бе участието на аутисти, за подпомагане на социализирането им. За тях нарочен софтуер представляваше проблема като интригуващ „пъзел“.

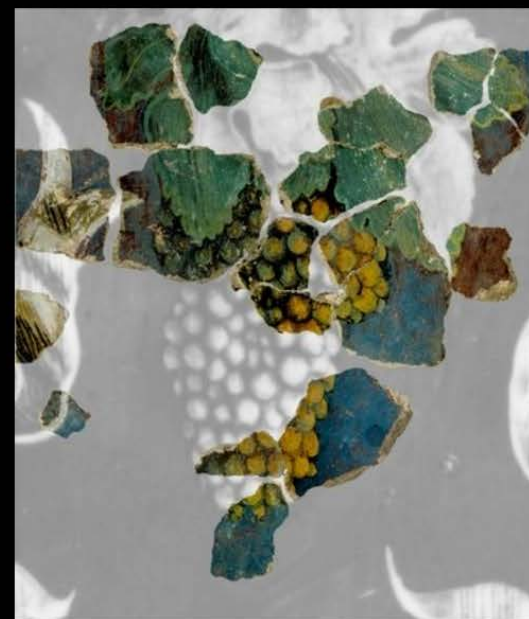
За повече информация (спонсори, жури, награден фонд и др.) вижте <https://vision.unipv.it/DAFchallenge/DAF-notice.html>

Руини от земетресение на църквата Сан Салваторе в Норча, Италия:
(заимствано от презентация, със съгласието на проф. V. Cantonì, Унив. Павия, Италия)



Част от обекта „Параклис Оветари в Еремитани в Падуга“ за реконструкция по проекта Mantegna, общо 78561 налични фрагмента:
(заимствано от презентация, със съгласието на проф. V. Cantoni, Унив. Павия, Италия)

San Pietro



© 2006 Laboratorio Progetto Mantegna. Tutti i diritti riservati

Ние предлагаме виртуална реконструкция на стенописи, която е тясно свързана с научноизследователския конкурс в областта на компютърното зрение и разпознаването на изображения, използвайки и съвременни компютърни техники от областта на машинното обучение, изчислителната геометрия и комбинаториката, и др.

Методът, който използвахме е класически, а именно базиран на нормализирана крос-корелация (NCC), представена в

Lewis, J.P., Fast Normalized Cross-Correlation, Industrial Light & Magic, 1995 г. и имплементирана в MatLab (R2010b, R2014a и др.) чрез функцията `normxcorr2()`. Разбира се, ние основно променихме тази функция.

Подходът: чрез пълно изброяване на възможните ситуации на всяко от представените фрагментни изображения (позиция и ротация) спрямо съответното изображение на фреска . Този подход, често използван за решаване на подобни проблеми, е избран поради:

- Нелинейната (неправоъгълна) форма на фрагментите;
- Наличието на произволна ротация при заснемане (сканиране) на фрагментите;
- Почти пълната липса на контурно съответствие между фрагментите.

- Сама по себе си текстурата (т.е. изображението в сивата скала) често е недостатъчно информативна и се допълва добре от цветността. Ние използваме и трите цветни канала R, G и B, чиито NCC резултати съпоставяме.

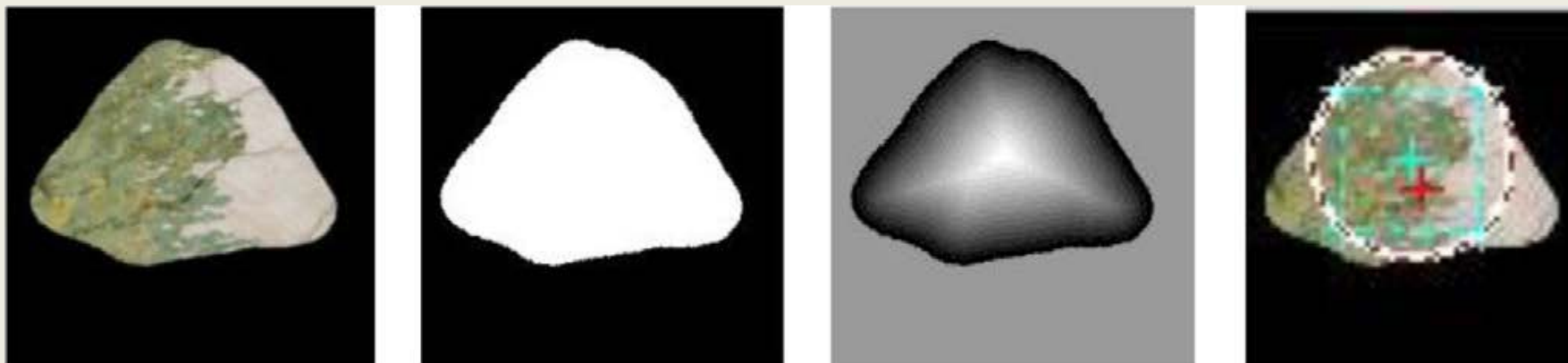
Модификации и подобрения на класическия NCC:

- Основната схема на алгоритъма се състои от три вложени цикъла:
 - 1) Външен цикъл по фрагменти,
 - 2) Междинен цикъл за подходящ брой ъгли на завъртане и
 - 3) Вътрешен цикъл за трите RGB канала за цветност и за конкретния брой MACIR (максимален и колинеарен вътрешен правоъгълник по оси), подходящо покриващ текущия тестван фрагмент.

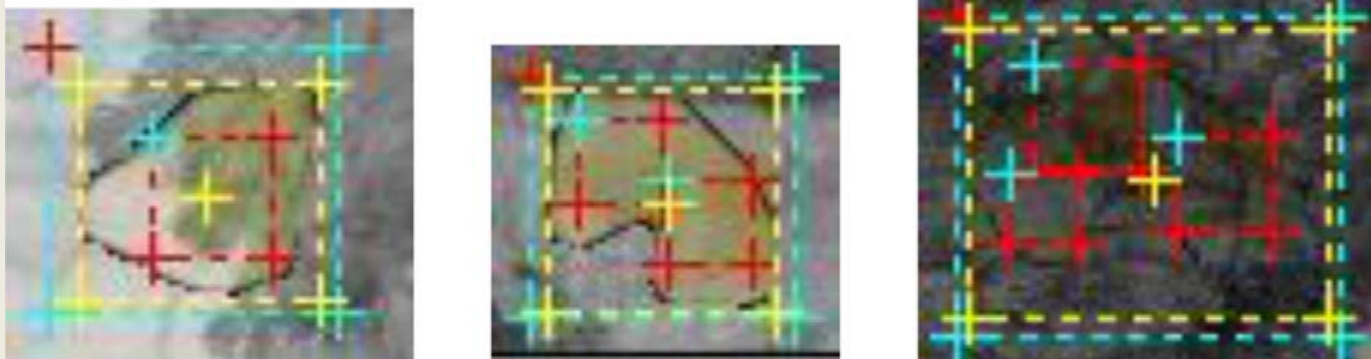
Резултатите по критерия NCC се обобщават чрез просто сумиране със съответното отместване.

- За да се осигурят изискванията на основния NCC метод за правоъгълни входни изображения, беше необходимо да се работи не с цялото изображение на съответните фрагменти, а с някои правоъгълни и максимално информативни части от него, т.е. така наречените MACIR. **От съображения за простота и скорост на NCC алгоритъма, ние избираме всички MACIR да бъдат квадрати.** Това постига странична инвариантност в толеранс от ± 1 пиксел (хоризонтално и вертикално) за даден MACIR при въртенето на фрагмента.

- ◆ За да се осигури по-пълно покритие на текущо тествания фрагмент, т.е. по-голяма представителна част, върху която се търси максимумът на NCC, фрагментът се разбива (разбира се, ако се окаже необходимо) на допълнителни MACIR, за предпочитане неприпокриващи се. Програмно засега броят на всички MACIR за даден фрагмент е ограничен до 5 (вижте и Фиг. 1, 2).
- ◆ За да се избегне прекалено голямо MACIR покритие на даден фрагмент, напр. над 80-90%, е въведен параметърът "limCovertRatio", който засега е зададен = 50%.



Фиг. 1. а) фрагмент, б) неговият силует, в) трансформация на разстоянията в силуета и г) неговите максимална вписана окръжност, и MACIR.



Фиг. 2. Локализирани фрагменти с 1 MACIR, 2 MACIRs и 3 MACIRs.
Контурът на фрагментите се вижда в черно.

Ускоряване на софтуера, няколко подхода:

♥ Размерите на MACIR, покриващи даден фрагмент, се променят многократно в цикъла на въртене на фрагмента, но размерите им варират в рамките на ± 1 пиксел. В нашия алгоритъм преоразмеряването на всеки MACIR се случва най-много веднъж в цикъла на въртене на дадения фрагмент.

♥ Изображението на входната фреска очевидно е неизменно в дадена DAFNE задача, така че съответната обработка на изображението на фреската може е нужно да се извърши най-много два пъти в цикъла на въртене на текущия фрагмент. Така за FFT ускорението на NCC са добавени 3 вида масиви (именувани “ff2A”, “tSumA” и “tDnmA”), всеки с 3 копия за всеки цветен канал и 5 копия за всеки потенциално възможен MACIR за дадения фрагмент.

Повишаване на точността на позициониране:

При избрания директен, еднопроходен подход за позициониране чрез NCC са възможни колизии, т.е. припокриване на текущо тествания фрагмент с един или повече, вече позиционирани фрагменти. Възможните причини са следните:

- ♣ Относително големи разлики между наличното изображение на фреската и съответно позиционираните фрагменти, поради стареене/избледняване на материала, физически повреди и др.;
- ♣ Относително малка стойност на средноквадратичното отклонение в района на коректното позициониране (както на фреската, така и на фрагмента);
- ♣ Висока степен на вътрешно сходство и симетрия във фреската и случайно съвпадение на руините, поради тази симетрия и др.;
- ♣ Висок процент "фалшиви" фрагменти (непринадлежащи към фреската) и др.

За повишаване на увереността, че вече обработените фрагменти са правилно позиционирани (т.е., за да има смисъл от маскирането, описано по-горе), фрагментите се обработват в определен ред, изчислен предварително, например според: 1) площта на фрагмента: по-голяма площ – повече информация за търсенето на NCC; 2) фрагментно средно статистическо отклонение: по-голямо отклонение – повече NCC информация; 3) нещо съчетаващо първите две, например тяхно произведение и др..

Експериментите показаха, че първият подход е най-ефективен и той е използван в алгоритъма.

Разбира се, известно застъпване на фрагментите от порядъка на 1-5% може да се приеме за допустимо, предвид неточности и/или несъответствия в цвета и текстурата на изображенията на фреската и съответните фрагменти.

Отново за ускоряването на алгоритъма/софтуера:

Базовата функция `myNormxcorr2()`, въпреки подходите за ускоряване тук, изразходва над 80% от времето, необходимо за целия алгоритъм.

Смятаме, че MatLab са имали достатъчно време да оптимизират своите кодове до съвършенство. Следователно по-нататъшното ускоряване (на този тип алгоритми) трябва да се търси главно в някакъв вид паралелна обработка, главно за циклите за изпълнение на `myNormxcorr2()`, например: използване на многоядрен хост; работа в "облак", работа в изчислителна мрежа и др. На паралелен компютър ([Avitohol HPC](#)) ще изпълняваме само първата фаза на алгоритъма RINCCAS, т.е. получаването на картата за позициониране на НСС за всички фрагменти. Втората фаза (изолирането на фалшивите фрагменти) е доста по-ефективна и се изпълнява за броени минути на конвенционален компютър.



AVITOHOL supercomputer

- 150 HP Cluster Platform SL250S GEN8 servers with
- 2 Intel Xeon E5-CPU E5-2650 v2 @ 2.60GHz and
- 2 Intel Xeon Phi 7120P coprocessors
- 64 GB RAM per server
- 20700 Cores
- FDR Infiniband interconnection
- 96 TB Storage system
- Theoretical peak performance: 412.3 TFlop/s
- Operating system: Red Hat® Enterprise Linux

Фреска-1: Доменикино (1602), „Девицата и единорогът“,
[2400x1983], предоставени 600 фрагмента: ([резултат след 1-вата фаза на RINCCAS](#))



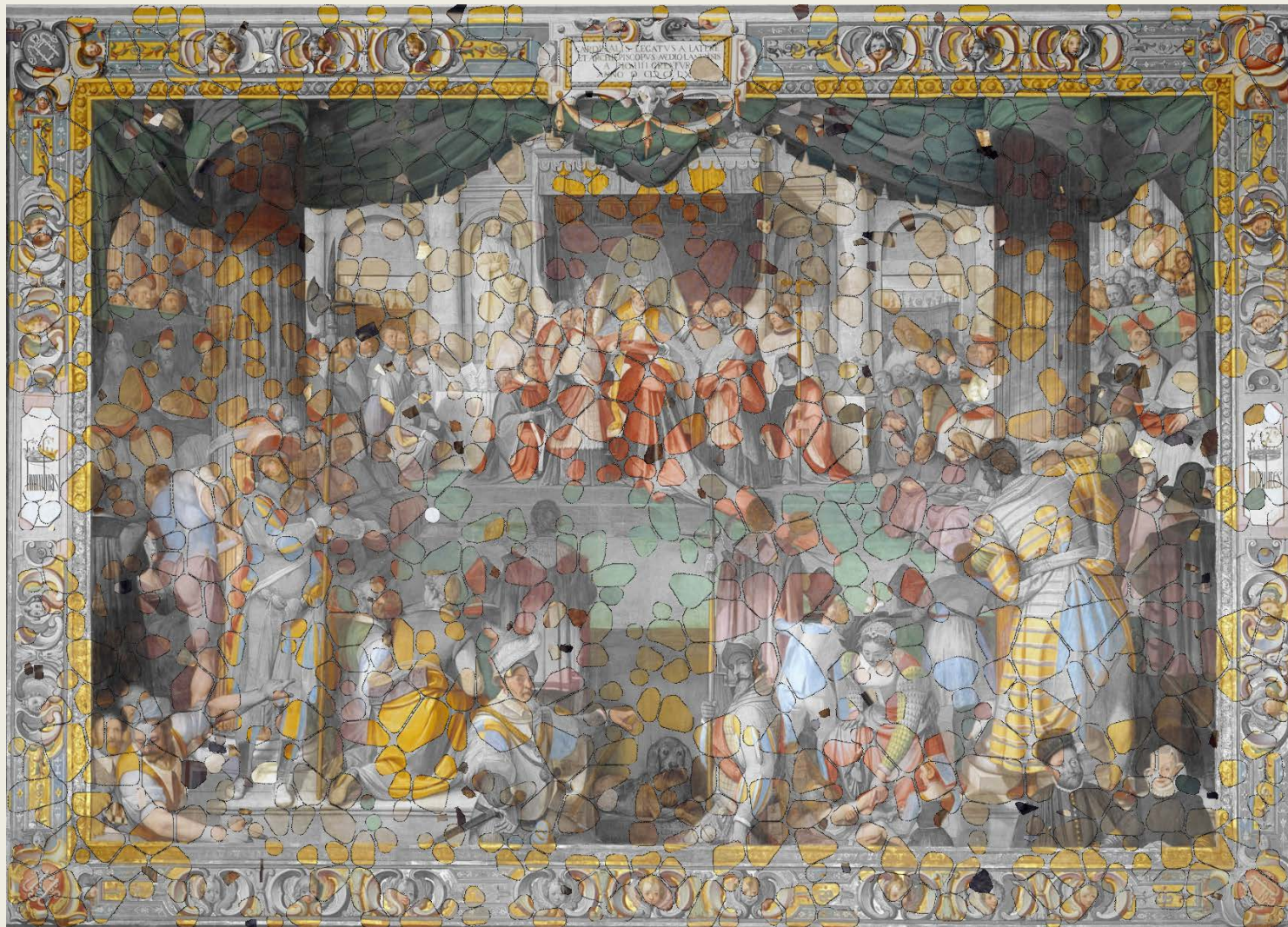
Някои неочевидно фалшиви фрагменти могат да се оставят на вниманието на художника експерт..

След прочистване на фалшивите фрагменти (2-ра фаза на RINCCAS)

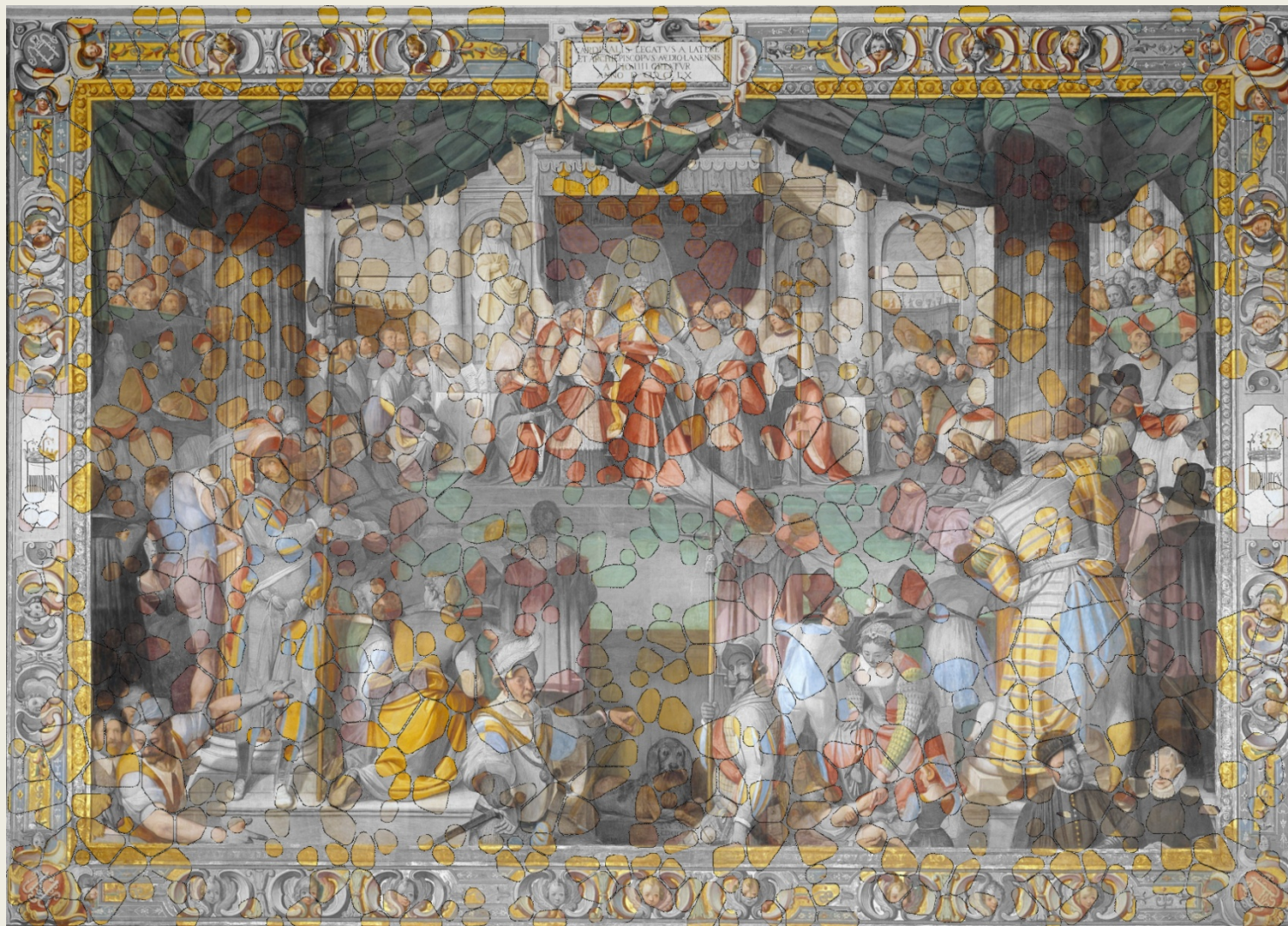


Большинството фалшиви фрагменти са наблюдаеми чрез ефекта «blink comparator» (PgUp ⇔ PgDn).

Фреска-2: Федерико Зукари (1603-4), „Шапката на кардинала, дадена на Свети Чарлз Боромео“, [3440x2459], предоставени 1188 фрагмента:



След прочистване на фалшивите фрагменти (2-ра фаза на RINCCAS)



Фреска-3: Андреа ди Бонайуто (1365-67), „Алегория на действащата и триумфална църква и Доминиканския орден“, [4851x3816], предоставени 2045 фрагмента:



След прочистване на фалшивите фрагменти (2-ра фаза на RINCCAS):



- Засега паралелната работа е организирана последователно, в еднотипни паралелни сесии на 1 възел на AvitoHol, т.е. с «w», броя на едновременно зарежданите логически ядра и с «t», броя на задачите за тях (т.е. 1 задача \Leftrightarrow 1 фрагмент). Така броят на сесиите е $\text{ceil}(K/t)$, където K е общият брой на фрагментите.
- Ще търсим **метод за «пълно натоварване»** на всички 32 (16+16) ядра на даден възел на AvitoHol, чрез директно (или индиректно) контролиране на всяко от ядрата. Може да се очаква подобрене средно до около 2 пъти в общия случай или никакво, напр. ако всички фрагменти са с еднаква площ (поне във всяка сесия).
- Ще експериментираме паралелна работа с множество (повече от 1) възли. При постигане на целта от предходната точка ще очакваме почти линейна зависимост на времето за изпълнение от броя на използваните възли ($=n$), съответно от броя на ядрата ($=n*32$).
- Ще потърсим метод за предварителна оценка, до колко дадено мащабиране ($S > 1$) на входните данни ще причини незначително намаляване на точността на локализация на метода RINCCAS.

-- Засега **продължителността на RINCCAS-HPC експеримент** е приблизително обратно пропорционална на броя на използваните ядра, но като цяло остава „логаритмично кубична“, т.е. „логаритмично квадратична“ спрямо размерите на изображението на фреската и линейна спрямо усреднената страна на фрагментите и техния брой. **Ще се търсят алтернативни подходи за по-бързо изчисляване на NCC картата, напр. чрез CBIR, чрез CNN и т.н. (но без подхода на „характерните точки“, вече демонстриран в DAFNE).**

-- Ще разработим **уебсайт**, който да обслужва клиентите на NI4OS-Europe, които желаят да решават подобни задачи за "Anastylosis of Frescos". Най-вероятно сайтът ще резидира на компютъра, на който ще се изпълнява 2-та фаза на RINCCAS (т.е. за откриване на фалшиви фрагменти). Първата фаза на алгоритъма, която е описана в презентацията, ще се изпълнява на Avitohol, като подчинен процес. Последното се налага поради факта, че все още не сме намерили подходящ графичен софтуер за комуникация на Avitohol с отдалечен графичен терминал.

--

Демонстрацията е от типа “псевдо видео”, т.е. последователност от JPG кадри в папката “Pic-1 (RINCCAS Phase-1, Avitohol demo)”.

Демонстрацията представя работата на 1 CPU възел HPC Avitohol, 16 физически ядра, всяко едно натоварено с 1 задача “позициониране на 1 фрагмент”.

Повече информация за базовия метод, алгоритъм и програма RINCCAS може да се намери в:

Dimov, Dimo T.: ***Rotation-invariant NCC for 2D color matching of arbitrary shaped fragments of a fresco***. Pattern Recognition Letters, 138, October 2020, ELSEVIER, 2020, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.08.010>, 431-438.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865520303081>

Настоящата презентация, изследванията и експериментите по разработката RINCCAS-HPC станаха възможни благодарение на проекта на ИИКТ-БАН, по Национални инициативи за отворена наука в Европа H2020, изследвания и иновации, по договор №. 857645.



Благодаря за проявения интерес !!!
и за Вашите въпроси 😊