



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет Електроника и Автоматика

Катедра Компютърни системи и технологии

маг. инж. Димитър Атанасов Гърневски

**РАЗШИРЯВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ОБРАБОТКА
НА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОМЕНИТЕ В
МАГНИТНОТО ПОЛЕ НА СЛЪНЧЕВАТА КОРОНА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"**

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3 "Комуникационна и компютърна техника"

Научна специалност: "Автоматизирани системи за обработка на информация
и управление"

Научен ръководител: доц. д-р инж. Петя Емилова Павлова

ПЛОВДИВ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Компютърни системи и технологии“ към Факултет Електроника и автоматика на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 07.02.2018 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 07.06.2018 г. от 14.00 часа в зала 4425, IV-ти корпус на Технически Университет – София, Филиал Пловдив на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-67/23.02.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Владимир Димитров Лазаров – председател
2. доц. д-р инж. Петя Емилова Павлова – научен секретар
3. проф. д-р инж. Милена Кирилова Лазарова-Мицева
4. проф. д-р инж. Тодор Атанасов Стоилов
5. доц. д-р Петър Иванов Духлев

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Владимир Димитров Лазаров
2. проф. д-р инж. Милена Кирилова Лазарова-Мицева

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Електроника и автоматика на ТУ-София, филиал Пловдив, Четвърти корпус (Централна сграда).

Дисертантът е задочен докторант към катедра „КСТ“ на факултет Електроника и Автоматика. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени чрез публикации.

Автор: маг. инж. Димитър Атанасов Гърневски

Заглавие: Разширяване на възможностите за обработка на изображения и изследване на промените в магнитното поле на слънчевата корона

Тираж: 30 броя

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Дисертационния труд включва анализ на изображенията на слънчевата корона и разработката на приложен програмен продукт за обработка на серии от изображения на Слънцето. Прилагане на подобни методи за анализ и програми позволява изследване на основни еруптивни прояви на Слънцето поради ключовата им роля за космическия климат. Космическия климат оказва все по-голямо влияние върху наземните и космически базирани технологични системи, човешкия живот и здраве.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е изследване на възможностите за ускоряване на обработката на серии изображения от протуберанси и обективизация на измерванията върху тях чрез използване на съвременни средства за паралелно програмиране. Чрез анализ на метода за конвенционална обработка и създаване на паралелна версия се цели подобряване на времето за обработка серии от изображения, получавани от различни източници.

Задачите, които произтичат от целта на дисертацията са:

1. създаване на програмен продукт за обработка на изображения и тестване чрез средствата на конвенционалната и паралелната обработка. Задачата също така включва и изясняване на приложимостта на среди за паралелна обработка за целите на имплементираните в програмния продукт задачи
2. анализ на възможности за дистанционна обработка и достъп до изображения от различни хранилища, които са достъпни и се използват за работа по дисертацията.
3. провеждане на тестове за възможностите на различните обработки и определяне на граници на приложимост на имплементираните алгоритми и методите за конвенционална и паралелна обработка
4. обработка върху серии от реални изображения за обективизация на получените резултати, чрез извличане на данните за височината на протуберанса и кинематичните му характеристики.

Научна новост

Реализация на алгоритмите за обработка на слънчеви изображения с помощта на съвременни средства за паралелно програмиране. Определяне на граници на приложимост на имплементираните алгоритми и методите за конвенционална и паралелна обработка

Практическа приложимост

Практическата приложимост на дисертационния труд е насочена към следните няколко основни аспекта:

- изследване на еруптивни прояви на Слънцето чрез визуализация на движението в слънчевата корона
- прилагане на разработените програмни решения за изследване на връзката между възникване на еруптивни прояви в слънчевата корона и пулсациите на слънцето
- прилагане на съвременни средства за паралелно програмиране за обработка на слънчеви изображения с цел подобряване на ефективността на обработките
- осъществяване на достъп до отдалечено разположени астрономически данни
- изследване на възможности за обработка на изображения в реално време

Апробация

Апробацията е извършена чрез прилагане на представените паралелни реализации на методи за обработка върху изображения на реални обекти, както и верификация на резултатите от паралелна обработка спрямо серийна такава.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 научни статии, от които 4 в INTERNATIONAL CONFERENCE “ENGINEERING, TECHNOLOGIES AND SYSTEMS” 2015-2017; 1 в Bulgarian Astronomical Journal vol. 24, p. 89; 3 от публикациите са самостоятелни.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **163** страници, като включва увод, **5** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **69** литературни източници, като **67** са на латиница и **3** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **80** фигури и **11** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

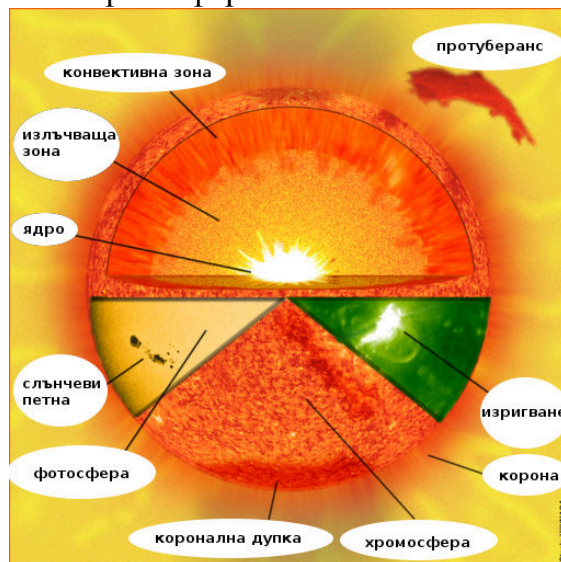
II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Литературен обзор

В първа глава са разгледани основни понятия свързани с хелиофизиката, необходими за разбирането на процесите и явленията които протичат на най-близката до нас звезда - Слънцето. Представени са начините за регистриране на изображения на Слънцето, файловите формати с помощта на които се съхраняват и обменят изображенията. Направен е анализ на съществуващите методи и алгоритмите използвани при обработка на изображенията на Слънцето, накрая са представени целите и задачите на дисертационния труд.

Слънчева корона

Слънцето може да бъде разделено на вътрешна структура и атмосфера. Вътрешността му се състои от ядро, което е източник на енергията на Слънцето, мястото където водородът се преобразува до хелий чрез процесите на термоядрени реакции, излъчваща зона, където енергията се пренася чрез лъчист пренос и конвективна зона, където преносът се извършва чрез конвекция. Преходния слой между излъчващата и конвективната зона, т.н. тахоклин е източник на магнитното поле на Слънцето. Горните части на конвективните клетки формират слой наречен фотосфера, който представлява граница между вътрешността на Слънцето и неговата атмосфера. Исторически, терминът „Слънце“ се свързва предимно с вида на вида на Слънцето на ниво фотосфера.



Фиг. 1.1 Базова структура на Слънцето [34]

Горната част на слънчевата атмосфера, която се намира над фотосферата, представлява размита граница с между планетното пространство. Тази част на атмосфера включва в себе си хромосфера, преходна област и корона. Поради ниската плътност и високите температури в слънчевата корона, основна част от излъчването и се формира в далечната ултравиолетова област на спектъра. Явленията, наблюдавани в короната се управляват от слънчевото магнитното поле.

Протуберанси

Явленията на Слънцето се разделят на два класа - спокойни и активни. Към активните спадат такива явления като слънчевите протуберанси, слънчевите избухвания, петната, короналните изхвърляния на маса и други. Една от най-активните прояви на Слънцето са слънчевите протуберанси. Тяхната форма и движения отлично визуализират конфигурацията на слънчевото магнитно поле в слънчевата атмосфера.

Голяма част от познанията за протуберанси са получени от базата на наблюдения на водородната линия $H\alpha$ с помощта на тесноивични филтри (до $10 \text{ \AA}$ ивица на пропускане при наблюдения на протуберанси на лимба, и до $1 \text{ \AA}$ в случаи на наблюдения на влакна върху слънчевия диск).

Най-често използваната дефиниция за протуберанс е структура в хромосферата и короната, която е по-плътна и по-студена от обкръжаваща я атмосфера. Протуберансите представляват съвкупност от множество магнитни тръби, изпълнени с относително студена ($T = 10^4 \text{ K}$) и плътна ($n_e = 10^{10} - 10^{11} \text{ cm}^{-3}$) плазма по отношение на горещата и разрежена корона ($T = 10^6 \text{ K}$; $n_e = 10^8 - 10^9 \text{ cm}^{-3}$) (Tandenberg-Hansen 1995).

Класификация на протуберанси

1. Спокойни протуберанси/влакна

Преобладаващата част (около 2/3) от протуберансите са от клас спокойни. Спокойните протуберанси (СП) са относително стабилни образувания, разполагащи се извън активните области. Времето им на живот е от няколко дни до няколко слънчеви ротации. Като най-устойчиви образувания на слънчевата активност, СП са особено подходящи за изследването структурата и еволюцията на локалните магнитни полета, отговорни за тяхното формиране и съществуване, както и за взаимодействието им с плазмата на слънчевата атмосфера.

2. Еруптивни протуберанси

Въпреки разнообразието от активни прояви на протуберанси, те могат да се разделят на два основни типа - активни и еруптивни. Ерупцията на протуберанси е едно от най-енергетичните активни явления на Слънцето. По време на този процес около 10^{12} kg плазма се изхвърля от хромосферата и ниската корона в междупланетното пространство. Според съвременното познание за магнитната природа на протуберансите, еруптивен протуберанс (ЕП) е този, при който цялата протуберансовата материя (пълна ерупция), част от нея (частична ерупция) или горната част на едромасщабното магнитно поле над протуберанса (ограничена ерупция) напуска слънчевото гравитационно поле поради силната радиална (хелиоцентрична) компонента на движението навън от слънчевата повърхност (Gilbert, 2007).

Начини на регистриране на слънчевата корона

Преди създаването на коронографа и по-късното развитие на космическите наблюдения, пълните слънчеви затъмнения са създавали

уникалната възможност за изследване на характеристиките на плазмата във вътрешната корона, и по двата начина - чрез регистриране и спектроскопия, т.к. фотосферата, която е един милион пъти по-ярка от вътрешната корона е закрита от луната и яркостта на небето е значително намалена. Изобретяването на коронографа от *Bernard Lyot* през 1930 донесе напълно нови възможности за дневни наблюдения на слънчевата корона както във видимата част на спектъра така и в светлината на специфични спектрални линии. За провеждане на наблюденията с помощта на космическите апарати отново се използват коронографи и допълнителна апаратура за изследване на слънчевата атмосфера на различна дълбочина (различна дължина на вълните). Едни от най-известните мисии са: *SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)*, *TRACE (Transition Region and Coronal Explorer)*, КА-КОРОНАС-Ф (Комплексни орбитални наблюдения на активността на Слънцето), *SDO*, *STEREO* и други. Поради наличие на дифракция на ръба на плътния закриващ диск, значителната част (до 1.05 от слънчевия радиус) от слънчевата корона все още не може да бъде наблюдавана с помощта на коронографа.

Съществуващи начини за обработка

Прилагането на филтри към изображенията позволява да бъдат извадени, или подобрени характеристика на избрани пространствени мащаби, докато нежелани структури (като шумове) да бъдат потиснати. Възможностите за анализ могат да бъдат оптимизирани чрез прилагане на обработка на изображения, която по-добре открива специфични черти в обработваните данни, особено ако това става в ранни етапи от анализа, при които визуалната инспекция е най-важна. Затова техники за филтриране на изображенията са от такова значение за анализа на изображенията.

Таблица 1.1 Процедури за обработка на слънчеви данни [25]

Категория обработка на изображение	Ефект или корекция
Ефекти от инструменти	Горещи или тъмни <i>CCD</i> пиксели (<i>EUV</i>) Корекция на плоското поле, <i>DC pedestal (EUV)</i> Засенчване на ъглите (апертура, полезрение) Очертаване (<i>telescope spider</i>) Диск на окултера (коронографи) Пропуски при запис на данните Пропуски в телеметрията (космически апарати) Компресия на изображенията (<i>jpeg</i> , <i>ICER [239]</i>) Аберация (фокусираща оптика) Не-квадратни пиксели (<i>CCD</i> мащабиране на пиксела)
Не-слънчеви характеристики	Пикове на космически лъчи (<i>EUV</i>) Линии на интерференция (радио спектър)

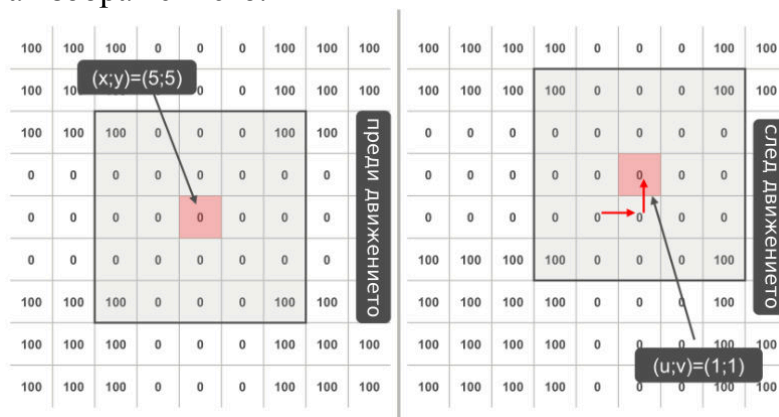
Резолюция на изображенията	<i>Rebinning, resampling</i> , билинеарно интерполиране Неразпознати структури, коефициенти на запълване <i>Point-spread function deconvolution</i> <i>Blind iterative deconvolution</i>
Фон на изображенията	Изваждане на емисия на спокойно Слънце (<i>SXR, EUV</i>) Изваждане на профила на централния лимб (бяла светлина) Разсеяна светлина (оптика, <i>EUV</i>) Премахване на звездното поле (<i>STEREO/COR, HI</i>)
Координатна система	Хелиографски координати (слънчеви изображения) Елиптични координати (хелиосферични изображения) Епиоларни координати (<i>STEREO</i> изображения)
Съвместяване на изображенията	Филтри на ко-пространствени дължини на вълните Ко-пространствени времеви поредици Разстояние между слънцето и космическия апарат (<i>STEREO</i>) Ъгъл на завъртане на космическия апарат Диференциално слънчево завъртане Насочване на космическия апарат/ <i>jitter</i> Наблюдения с няколко космически апарата (<i>STEREO</i>)
Филтриране на изображения	Фотонен Поасонов шум Поасоново прекодиране Заглаждане Наслагване на изображения (времеви поредици) Фурие филтър, оптимален филтър Ниско-честотно и високо-честотно филтриране Премахване на шума в честотната област Подобряване на ръбовете, <i>unsharp masking</i> Калманов филтър Морфологически филтър <i>Noise Adaptive Fuzzy Equalization (NAFE)</i> [28] <i>Multiscale Gaussian Normalization (MGN)</i>
Реконструкция на изображения	Фурие изображения (радио, твърд <i>X-rays</i>) Демодулация (въртене на космическия апарат) Реконструкция на изображения съдържащи петна (виждане) Фазово разнообразие (виждане)

Към днешна дата по-голямата част от данните за кинематиката на *CME* се получава чрез разлика в изображенията, докато всяко изображение се изважда от предходното, така че да изпъкнат региони с променящия се

интензитет. След като *СМЕ* бъде идентифицирано, ръчно чрез избиране на точки, или под някаква форма на праг и сегментация могат да бъдат създадени графики височина-време, и да бъдат изчислени скоростите и ускорението на всяко от *СМЕ*.

Използваните методи за изследване на *СМЕ* имат свои ограничения, най-вече заради това, че тези дифузивни обекти са трудни за откриване чрез традиционни техники за обработка на изображения. Тези трудности произлизат основно от прозрачната природа на *СМЕ*, ефекти в следствие на разсейването и нелинейния профил на интензитета на ограждащата корона. Също така влияние оказва интерференцията на космическите лъчи и слънчевите енергийни частици (*SPE*), които се появяват като шум върху детектора на коронографа.

Съществуват голям брой приложения които разчитат на анализа на движението в поредици изображения. Това включва откриване на движение при наблюдение, компресия на поредици от изображения (*MPEG*), анализ на съдържанието на изображенията (сегментация базирана на движение, получаване на данни за дълбочина/структура от движение), избягване на препятствия, регистрация на изображения и композиция. Резултатът от това се нарича поле на оптическия поток, набор от двумерни вектори на скоростта, по един за всеки малък регион (възможно по един за всеки от пикселите) на изображението.



Фиг. 1.14 Движение в два последователни кадъра

Значителния напредък в развитие на компютърните средства за съхранение на данни и наличността им, както и възможности за обработката им, има повишаване на вниманието към автоматизирани и модулни средства за обработка на слънчевите изображения. Автоматичното идентифициране на характеристиките на процесите и явленията в Слънцето, са били разгледани в литературата от различни аспекти, т.к. обработката на слънчевите изображения е една от най-популярните задачи в изследванията. Един е от най-големите тласъци за създаване на обширна система за автоматично разпознаване на характеристики на слънчевите процеси е *SDO*. Чрез осигуряване на около 1.5TB слънчеви данни всеки ден, *SDO* довежда мащабите за обработка на слънчевите изображения до следващо ниво на развитие.

ГЛАВА 2. Цифрови изображения и тяхната обработка

В главата са разгледани математическите основи, включващи необходими дефиниции и конвенции от теорията, които са основополагащи за при задачи свързани с обработка на цифрови изображения. Представени са два цветови модела *HSV* и *HSI*, както и начините на конвертиране между *RGB* и тези модели.

Дефиниция за цифрово черно-бяло изображение като функция на две променливи в *Cartesian* координатна система.

Нека $M = \{0,1,2,\dots,w-1\} \times \{0,1,2,\dots,h-1\}$, където $w, h \in N$, нека $R \subset \mathfrak{R}$. Функцията

$$f: M \longrightarrow R \quad (2.1)$$

се нарича сиво изображение. Стойностите w и h се наричат широчина и височина на изображението респективно. Елемент $[x, y] \in M$ се нарича пиксел, а стойността на функцията f в пиксела $[x, y]$ се нарича стойност на пиксела. Кардиналност на R , $|R|$ се нарича динамичен обхват на f . Ние казваме, че динамичния обхват е n бита за всеки пиксел (имаме n -битово изображение) ако $R \subset Z_{2^d}$ за натурално d .

Дефиниция за цифрово цветно изображение

Нека $M = \{0,1,2,\dots,w-1\} \times \{0,1,2,\dots,h-1\}$, където $w, h \in N$, нека $R \subset \mathfrak{R}^3$. Вектор функцията

$$f(x, y): M \longrightarrow R, \quad f(x, y) = (r(x, y), g(x, y), b(x, y)) \quad (2.3)$$

се нарича цветно изображение, а функциите r , g , b се наричат цветови компоненти на изображението f .

Филтри за изображения

Филтри за изображения широко се използват в приложения за: намаляване на шума в изображенията, изостряне, подобряване на ръбовете и други трансформации. Тези филтри се базират на различни операции с околности на обработвания пиксел или се прилагат чрез унитарни операции, които трансформират цялото изображение. Има хиляди публикации за различни филтри, които все пак не могат да дефинират точно значение на понятието “филтър”. Дори и трансформацията, която преобразува изображението до друго подобно със същия размер според дефиницията е филтър.

Трансформация на стойности на пиксели, филтри.

Трансформация, която запазва размера на изображението $\Phi: f \longrightarrow g$ се нарича трансформация на стойност на пиксела, ако Φ може да бъде изразена за всеки пиксел $[x, y] \in M$ като

$$g(x, y) = \phi(f(x, y)) = (\phi \circ f)(x, y) \quad (2.5)$$

Трансформация на изображението, която не е трансформация на стойност на пиксел се нарича филтър на изображението.

Линейни филтри. Филтър за обработка на изображения е линеен, ако стойността на всеки пиксел във филтрираното изображение g е афинна комбинация на стойности на съседни пиксели от оригиналното изображение f .

Адаптивен филтър е общо понятие, което не може да бъде описано математически. Основно това са група филтри, които са “интелигентни” - променят своя алгоритъм на филтриране на изображението въз основа на локалните параметри на изображението.

ГЛАВА 3. Дистанционна обработка

Трета глава включва анализа на начина на достъп до изображенията на Слънцето които са достъпни публично, представен е и софтуерен модул, който се използва за достъпа до изображенията. Детайлно е представен начина на достъп до изображенията на слънчевата корона, които са били предоставени от НАО Рожен.

По-долу са представени проучените и използваните за целите на труда хранилища на слънчеви данни и начина на достъп до тях. За осъществяване на достъпа до тях е бил реализиран помощен програмен модул който да използва API на хранилища, там, където такова API е налично.

Проект *Helioviewer*

Проектът цели до осигури достъп до събрани от различни инструменти данни до заинтересованите групи лица. Проектът е наличен на адрес <https://helioviewer.org/>. Разработчиците му са предоставили няколко варианта за достъп. *Web* базиран интерфейс, наличен на посочения адрес. Начинът за достъпът е удобен при търсене на събития в слънчевата корона. Вторият начин е използване на *API* достъпно чрез <https://api.helioviewer.org/v2/>. *API* на проекта позволява извличане на изображения според времето и инструмента/типа на измерването. Налични са и сървиси за извличане на метаданни.

Данни на инструмента *SDO / AIA (Atmospheric Imaging Assembly)*

Данните на инструмента да достъпни през *web* на следния адрес <http://aia.lmsal.com/public/instrument.htm>. Изображенията са подредени по дата и време. Те са във формат *JP2 (JPEG 2000)* и имат размери 4096 x 4096 пиксела. Допълнително са налични и метаданни от инструмента, както и видео с обобщаващи данни за определен период от време.

Достъп до данни на мисията *SOHO*

Данните получавани от инструментите на мисията *SOHO* са налични на официалната страница на проекта, която се намира на адрес

https://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query

Изображенията са във формат *JPEG* са резолюция 512 x 512 px или 1024 x 1024 px

Достъп до данни от коронографа в НАО Рожен

Въпреки значителното използване на данни от космически апарати и инструменти като *SDO/AIA*, наблюденията от земната повърхност продължават да бъдат широко използвани. За целите на наблюденията от земната повърхност се използва както обикновени телескопи, така и коронографи.

Заснеманите с коронографа на НАО Рожен изображения на слънчевата корона се съхраняват локално на сървър в обсерватория. Извадка от регистрирани изображения през 2014 година, както и архивни данни от 2005 са пренесени и разположени на сървър в лаборатория по компютърно зрение в ТУ София, филиал Пловдив, като по този начин те стават достъпни за последваща обработка и анализ. Достъпът до данните на сървър в лабораторията се осъществява чрез т.н. споделени папки (*Windows Shared Folder*), в локалната мрежа на лаборатория или през интернет с помощта на *VPN* достъп. Също така е изградена възможност изображенията да бъдат предоставяни чрез *HTTP* сървър.

ГЛАВА 4. Реализация на алгоритми върху различни апаратни средства и средства за реализация

В четвърта глава са описани основни дейности по реализация на софтуера за обработка на изображенията, изяснени са причини за използване на избраните среди за паралелно програмиране, начина на реализация на отделните филтри, общ поглед върху алгоритъма на работа на приложението, представено е и кратко упътване за работа с разработения софтуер, както и възможности за последващ анализ на генерираните от приложението данни с помощта на външни софтуерни продукти.

Разработваното приложение може да бъде разделено на два компонента

- ядро за обработка на изображенията
- потребителски интерфейс на приложението

В процеса на разработката на приложението за обработка и анализ на изображенията на слънчевата корона се използват няколко различни библиотеки за паралелно програмиране. Основните цели на такъв подход са следните:

- подобряване на производителността на приложението за обработка на изображенията
- осигуряване на оптимален модел за паралелно програмиране за конкретна задача в приложението. Едно от главните изисквания за използване на различните техники за паралелно програмиране е осигуряване на съвместимост между различните части на кода използващи съответните парадигми за паралелно програмиране.

Процесът на обработката на изображения е разделен на следните основни стъпки:

- въвеждане на изображенията в приложението

- предварителна подготовка на изображенията чрез филтриране, която включва конвертиране към вътрешния формат, изчистване на шумовете, добавяне на изкуствено слънчево затъмнение (при необходимост)
- изпълнение на алгоритъм за създаване на карта на движенията, чрез корелация на последователни кадри
- анализ на получените изображения, получаване на данни относно височината и скоростта на протуберанса
- визуализация на резултати и генериране на изходящи файлове с данни

От гледна точка на производителност при изпълнение на паралелните изчисления, най-добри показатели се достигат при използване на среди, които предоставят поддръжката на устройства с векторна обработка на информацията, както и много-нишкови такива. Към такива среди спадат *CUDA* и *OpenCL*. В първата изчисленията се изпълняват върху *GPU* устройства на фирмата *NVIDIA*, докато втората среда позволява извършване на изчисленията върху няколко вида устройства, в това число *GPU*, *x86* процесори, както и *Cell*. И двете среди предоставят много добри възможности за осъществяване на паралелните изчисления на ниво дадено изчислително устройство, както и възможности за оптимизиране на изчисленията с цел постигане на максимална производителност.

Ако се разгледат възможностите за разпределение на изчисленията между няколко изчислителни ресурса, тук под внимание трябва да се вземат среди от типа на *MPI*, които позволяват разпределение на изчисленията между няколко възела.

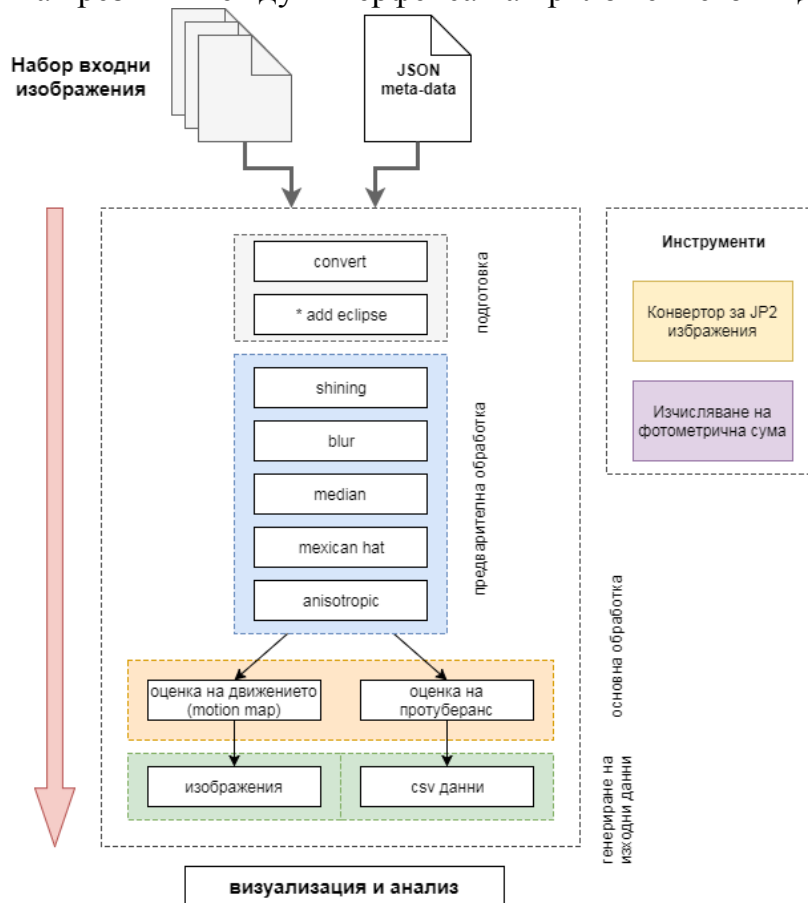
В процеса на разработката на приложението е взето решение за използване за следните платформи за паралелно програмиране, а именно:

- *OpenCL* се използва като основна платформа за реализацията на филтрите за обработка на изображенията
- *OpenMP* се използва като спомагателен инструмент за разпаралеляване на участъци от кода които извършват конвертирания и обработки в които участват различни структури данни, както и части на филтри, които извършват операции като редукция и поради това могат относително ефективно да бъдат реализирани с помощта на *OpenMP* и да се изпълняват върху *CPU*.
- *MPI* библиотека има за цел да осигури комуникация при изпълнение на приложения за паралелна обработка върху разпределени системи. В текущата работа е предвидено използване на *MPI* в конзолна версия на приложението, което може да бъде изпълняван върху клъстер. С помощта на *MPI* се извършва разпределение на задачите между отделните инстанции на приложението, както и обмяна на данни в процеса на обработка.[116]

При реализация на приложението с наличен графичен потребителски интерфейс, допълнително в процеса на разработка се използва и библиотека

за работа с нишки, представена от *Qt* платформа за разработка, която има за цел да отдели изпълнението на ядрото на приложението от интерфейса (*UI* - потребителския интерфейс) му. Поради това, че използването на тази библиотека не се включва в основните задачи на текущата работа, използването ѝ няма да бъде разглеждано.

Двата компонента (ядро за обработка и потребителския интерфейс) на приложението имат много слаба свързаност, която се изразява в комуникацията чрез *API* между интерфейса на приложението и ядрото.

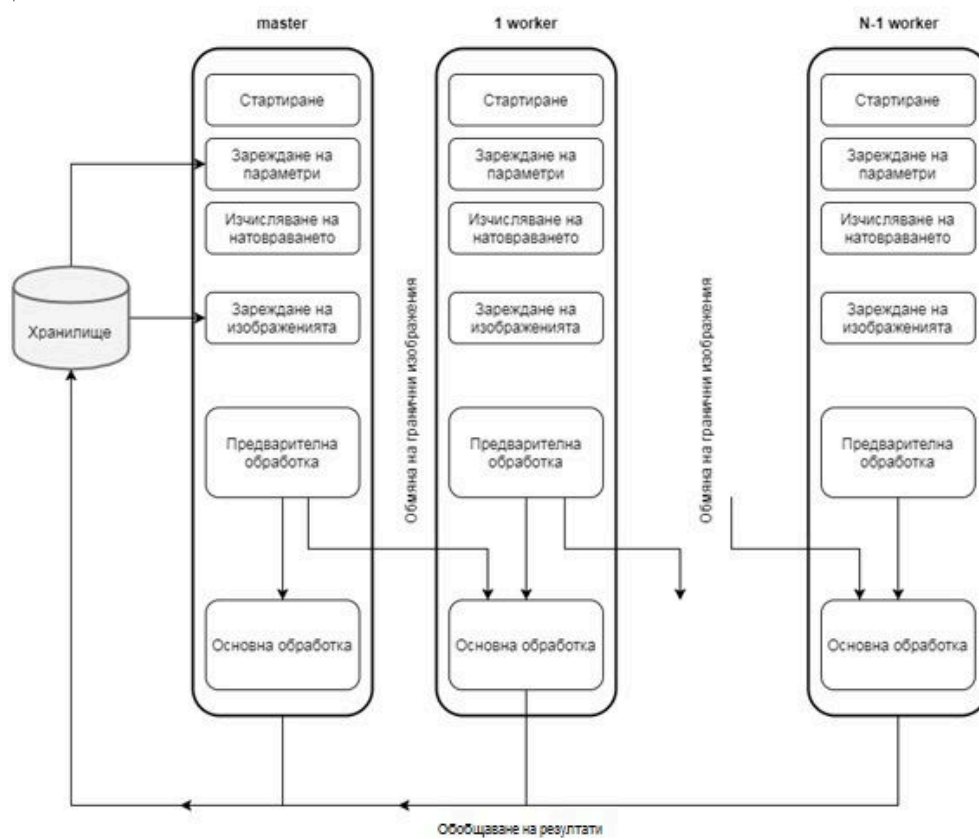


Фиг. 4.10 Алгоритъм на обработка на серия изображения в разработвания програмен продукт

Надграждане на възможности за паралелно изпълнение чрез използване на разпределени системи

В настоящ момент са широко разпространени *GRID* и *CLOUD* технологии които предлагат отлични възможности за изпълнение на програми върху много възли. Чрез използване на интерфейси за паралелно програмиране като *MPI* в комбинация с технология като *OpenCL* за масивен паралелизъм могат да бъдат постигнати много добри резултати в обработка на голям брой изображения. Интерфейси като *MPI* не предлагат много добро взаимодействие с приложения които имат графичен потребителски интерфейс, но поради това, че разработваното приложение има относително слаба връзка между графичния потребителски интерфейс и ядрото за обработка е възможна реализация на версия на приложението без

потребителски интерфейс, която да се изпълнява върху разпределена среда с помощта на *MPI*.



Фиг. 4.12 Достъп до данни и комуникация посредством *MPI*

Начинът на паралелна реализация на приложения предполага използване на няколко подхода, а именно едра и фина грануларност. Под едра се много често се има предвид на ниво процес, а по-фина е на ниво операция. *MPI* се използва много често за разделяне на операциите на ниво процес, като при необходимост от подхода с фина грануларност се извършва предаване на данни и синхронизиране на операциите.

В реализираното приложение *MPI* се използва за стартиране и синхронизиране на изпълнението върху няколко възела.

Поради използване на среда за масивен паралелизъм (*OpenCL*) в случая е удачно като самостоятелна единица данни при обработка да се използва едно входно изображение.

Липсата на зависимости на етап предварителна обработка на изображения, всяка една изображение се обработва с помощта на *OpenCL* филтри в рамките на един изчислителен възел, като филтрите се изпълняват върху *GPGPU* или *CPU* изчислително устройство. На етап предварителна обработка основната задача на *MPI* е разпределението на броя на задачите (входните изображения) за всеки едни от възлите, участващи в обработката. Други операции по обмен на данните между възлите участващи в мрежата не се изпълняват.

При реализация на паралелни версии на програми една от задачите е верификация на получените резултати при изчисленията спрямо тези получени при програмата със серийно изпълнение. При реализация на частта на кода, която се изпълнява паралелно резултатите от изпълнението на програмата са били верифицирани спрямо данни получени от *Petya Pavlova* и *Kostadinka Koleva*, *Technique for tracking and visualization of motion in sequence of images of the solar corona* [35]. Като за отправна точка и респективно като входни параметри на двете приложения са били използвани едни и същи серии изображения на слънчевата корона. Също така при изпълнение на паралелното приложение се използва същия набор от филтри за предварителна обработка на изображенията, а именно: премахване на осветявания, филтър "Мексиканска шапка" и филтър медиана. Получените резултати са били сравнени визуално и с помощта на метода за сравнение на хистограми на изображения. За да се направи верификация на получените резултати се използва помощно приложение, реализирано на езика *C++* и използващо библиотеката *OpenCV*, която предоставя метода за сравнение на хистограмите. За сравнение на хистограмите на изображенията са използвани следните две метрики:

- *correlation*

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H}_2)^2}} \quad (4.4)$$

където

$$\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J) \quad (4.5)$$

Максималната стойност при автокорелация е 1.

- *intersection*

$$d(H_1, H_2) = \sum_I \min(H_1(I), H_2(I)) \quad (4.6)$$

Максималното припокриване е равно на общия брой пиксели в хистограмата.

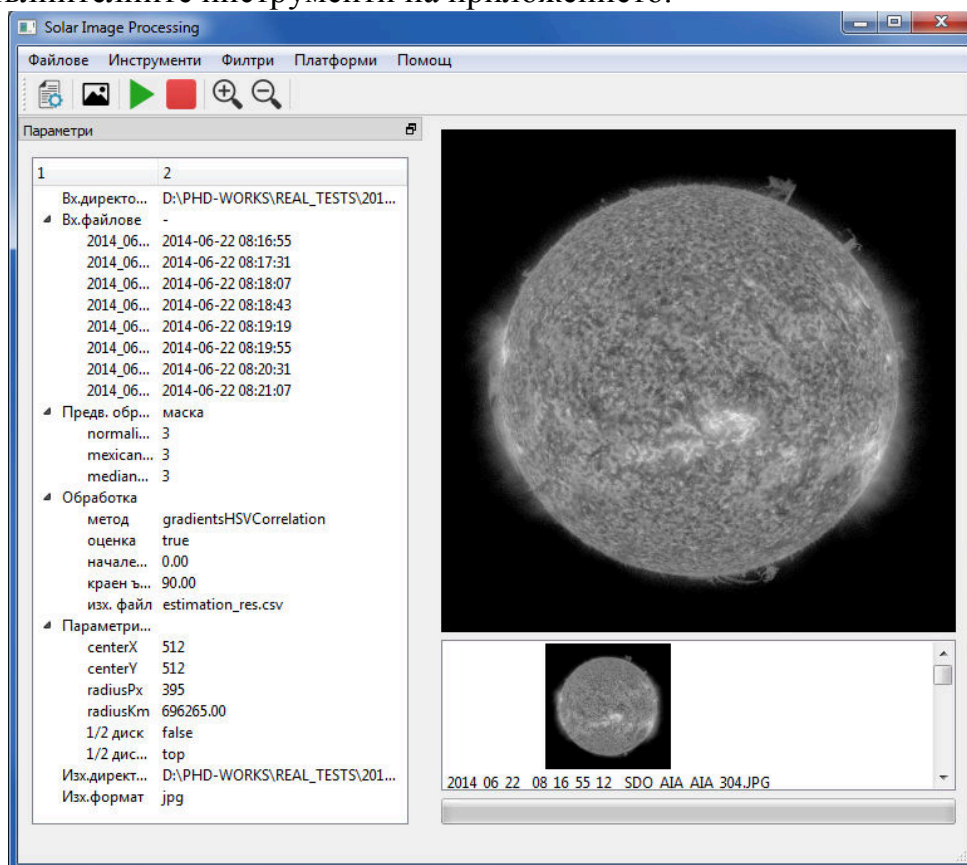
Изображение \ метод	correlation	intersection
1	0.999983	0.972168
2	0.999996	0.982027
3	1.000000	1.000000
4	1.000000	1.000000
5	1.000000	1.000000

Таблица 4.1 Резултати от сравнение на хистограми при верификация на паралелната реализация на приложението

Верификация на разпределената обработка (с използване на *MPI*) е извършена визуално, поради това, че основното ядро за обработка на изображенията в рамките на един изчислителен възел остава същото. Както беше описано в частта за реализация на разпределени изчисления, с помощта на *MPI* се извършва разпределение на задачите и обмяна на изображения

след приключване на частта с предварителна обработка. Предварителната обработка включваща паралелно изпълнение на алгоритмите, имплементирани на *OpenCL* и *OpenMP* остава идентична с тази при изпълнение на приложението върху един възел. Върху крайния резултат при изпълнение на корелация би оказало влияние неправилно предаване на гранични изображения чрез *MPI* между съседни възли, но това е било проверено чрез визуална инспекция на резултатите от изпълнението на приложението.

Главния прозорец на реализираното приложение за обработка на изображенията на слънчевата корона е представен на Фиг. 4.14. В тази част ще бъдат разгледани основни стъпки по зареждането на данните, стартиране на обработката и достъп до резултатите от обработката, както и използване на допълнителните инструменти на приложението.



Фиг. 4.14 Потребителския интерфейс на приложението - основни елементи

Приложението също така включва и допълнителни инструменти като:

- **Конвертиране на изображения** - като част от приложението е бил създаден конвертор от формат *JPEG 2000*, използван за съхранение на изображения получени от *SDO/AIA*
- **Изчисляване на фотометрична сума** - за изчисляване на коефициента на затъмняване на слънчевата корона и фотометричната ѝ сума с цел оценка на пулсациите на слънчевата корона във времето.

ГЛАВА 5. Резултати от прилагане върху изображения на реални обекти

Глава 5 представя избраните за тестване серии изображения, получени от няколко различни източника, както и резултати от тестване на разработения програмен продукт с тези изображения.

В процеса на разработване на приложението са били използвани данни от няколко източника: НАО Рожен и данни от космическата мисия SDO/AIA. В Таблица 5.1 са представени серии изображения на Слънцето, с техните характеристики и инструменти с помощта на които са регистрирани.

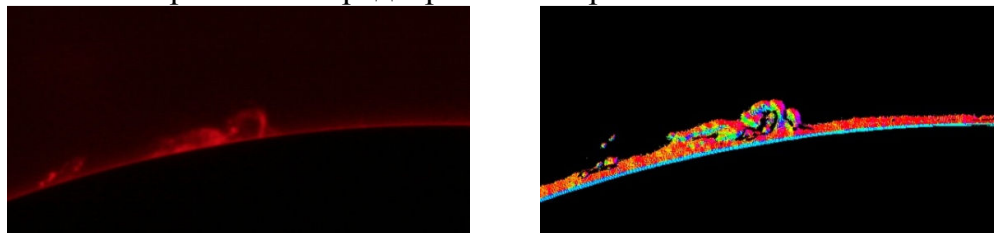
Брой налични изображения	Време на регистрация	Дължина на вълната	Резолюция	Файлов формат	Източник
48	15.11.2005 8:53-9:49UT	На (6563 Å)	1728 x 1152	JPEG	15 cm Коронаграф на НАО Рожен
4	15.11.2005	171 Å	1024 x 1024	JPEG	SOHO EIT
4	15.11.2005	304 Å	1024 x 1024	JPEG	SOHO EIT
63	15.11.2005	видимия спектр	1024 x 1024	JPEG	SOHO LASCO C2
63	15.11.2005	видимия спектр	1024 x 1024	JPEG	SOHO LASCO C3
32	22.06.2014 8:16 - 9:51 UT	На (6563 Å)	3456 x 2304	JPEG	15 cm Коронаграф на НАО Рожен
100	22.06.2014 8:16 - 9:51 UT	171Å	4096 x 4096	JPEG 2000	SDO/ AIA
100	22.06.2014 8:16 - 9:51 UT	304Å	4096 x 4096	JPEG 2000	SDO / AIA
23	22.06.2014	Бяла светлина	4096 x 4096	JPEG 2000	SDO / AIA
23	23.06.2014	Бяла светлина	4096 x 4096	JPEG 2000	SDO / AIA

Таблица 5.1 Серии изображения

След като имаме генерирани резултати от входните серии изображения можем да направим техен анализ спрямо редица параметри, които се актуални за разглеждания проблем. Анализът включва и приложимостта на

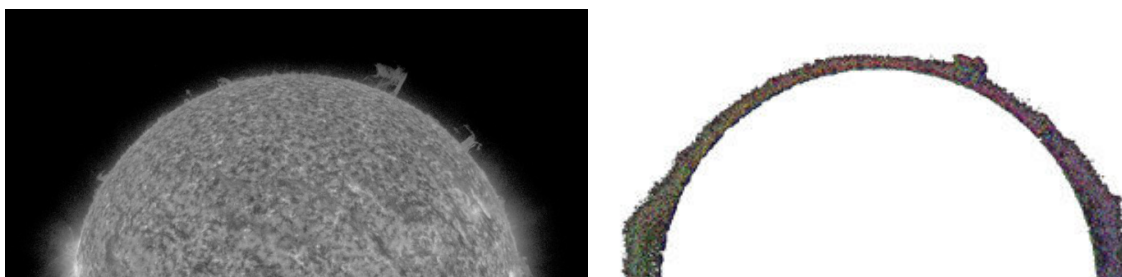
описаните паралелни и последователни методи за обработка, използването им при даден вид изображения (инструмент от който са получени, дължина на вълната и други характеристики), точността при обработка, случаи при които са възможни грешни резултати и т.н.

Целите на разработеното приложение включват както начина за визуализация на движението в слънчевата корона, така и измерване на височината на протуберанса според предварително зададените параметри. Функционалността по измерване на височината на протуберанса не зависи от тази за визуализация на движението в короната и се изпълнява отделно върху изображенията преминали предварителна обработка.



Фиг. 5.20 Оригинално изображение и визуализация на посоката на градиента. Дължина на вълната $6563 \text{ \AA}$, изображение регистрирано на 15.11.2005

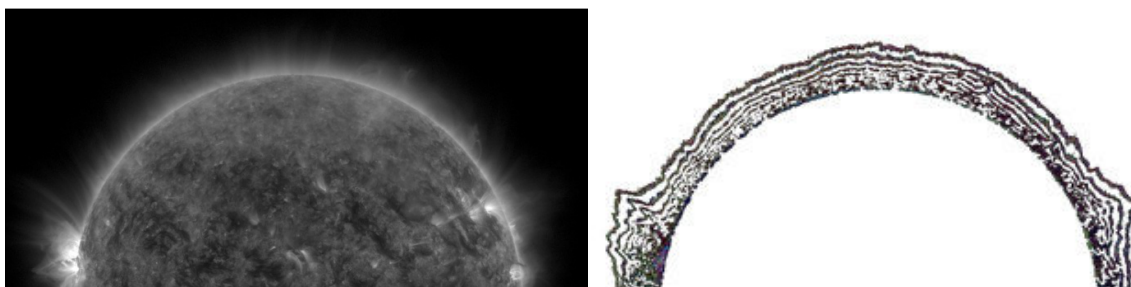
На Фиг. 5.20 е представена визуализация на процесите в слънчевата корона, въз основа на изображенията, получените с помощта на коронографа на НАО Рожен. Добра визуализация на движението при тях също така се дължи на относително малкия интервал на регистриране (интервала през който се регистрират изображенията) и на наличие на бързо развиващ се процес, при което промените в позицията на Слънцето може да бъдат пренебрегнати. Изображенията, които са с дължина на вълната $304 \text{ \AA}$ (He II) съдържат данни от т.н. хромосфера и преходния регион могат да бъдат използвани за проследяване на относително големи структури, които са дълъг период на живот. При тези изображения върху качеството на карта на движението оказват влияние светенето, близко до ръба на изкуственото слънчево затъмнение.



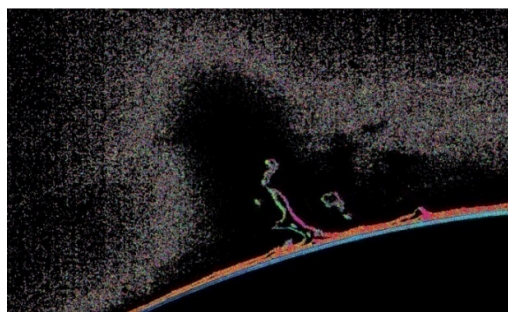
Фиг. 5.21 Оригинално изображение и карта на движенията в короната, генерирана от две последователни изображения. Дължина на вълната $304 \text{ \AA}$, изображенията са регистрирани на 22.06.2014

Премахването на това светене не е възможно до голяма степен поради това, че допълнително филтрите оказва негативно въздействие върху визуализирания градиент. Също така върху качеството на създадения градиент оказва своето влияние и промяната на позиция на Слънцето.

Изображенията с дължина на вълната 171 Å (Fe IX) съдържащи данни от спокойна корона при използване на корелация се визуализират като слоеве в които се извършва движение на частиците. Като плътни области с активно движение се визуализират ярко изразени процеси в короната.



Фиг. 5.22 Оригинално изображение и карта на движенията в короната, генерирана от две последователни изображения. Дължина на вълната 171 Å, изображенията са регистрирани на 22.06.2014

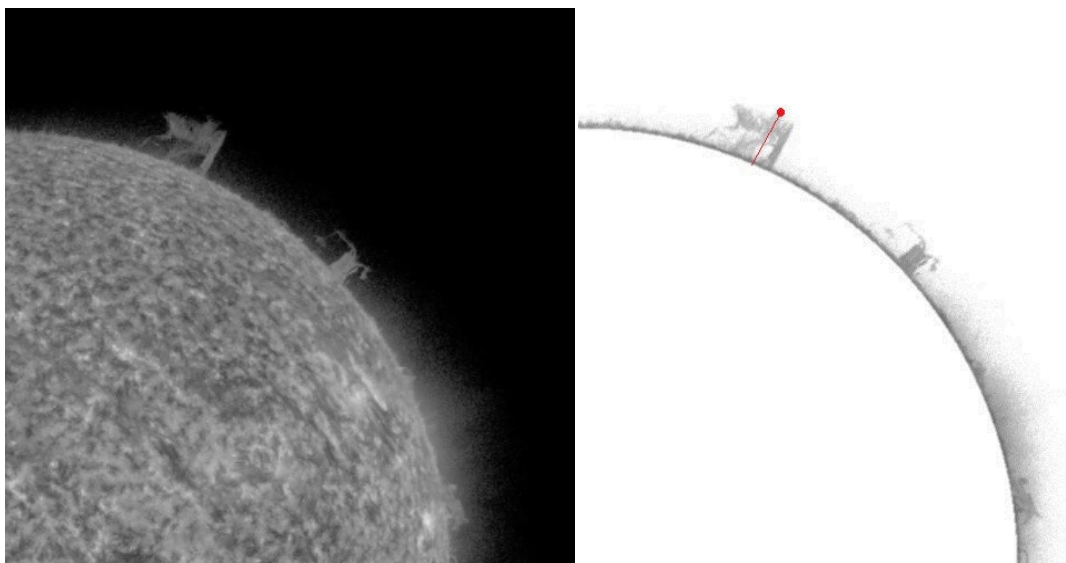


Фиг. 5.19 Пример за остатъчен шум при корелация

Въпреки универсалността на метода за проследяване на движението в серии от изображения все пак се могат да бъдат разгледани и случаи когато извършваните обработки не са оптимални. Така на Фиг. 5.19 е показан пример за наличие на остатъчен шум при корелация на две изображения в следствие на недобър подбор на филтри за предварителна обработка. В случая това пречи на визуалното възприятие на резултата от обработката, но основната структура на протуберанса остава различима.

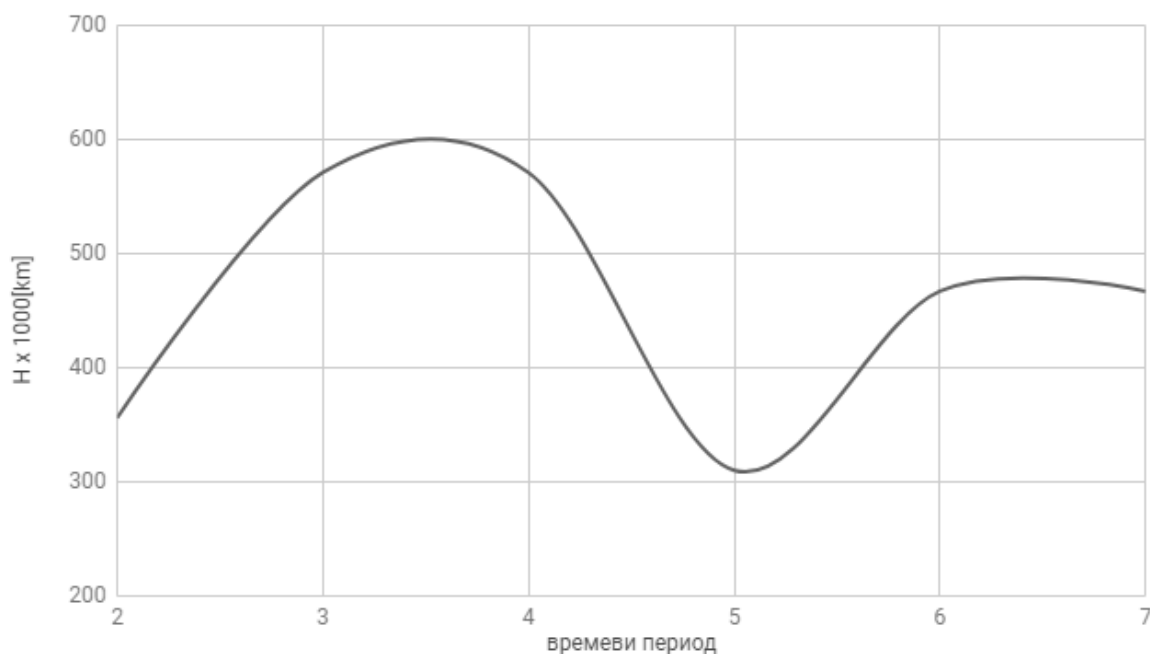
На двете изображения от Фиг. 5.15 е представена част от слънчевата корона преди и след обработка. Изображението генерирано след обработката съдържа и маркера за измерената височина. Измерването се извършва на максимално разстояние от края на изкуственото слънчево затъмнение, за посочените в конфигурационния файл параметри. Обработките включват добавяне на изкуственото слънчево затъмнение и прилагане на филтрите за намаляване влиянието на светено на границата между изкуственото

затъмнение и короната, като същевременно се цели открояване на структурите.

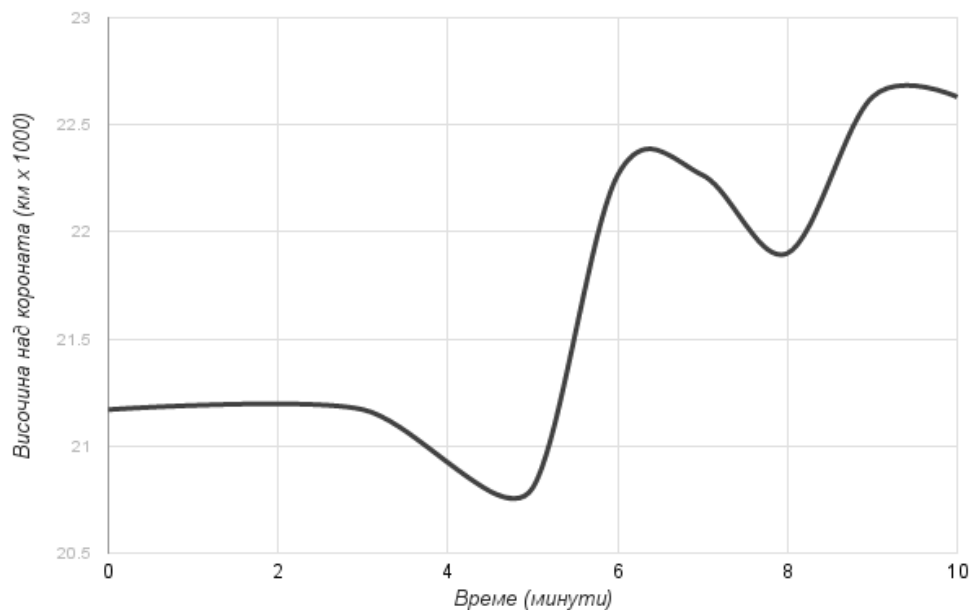


Фиг. 5.15 Изображение на протуберанса, регистриран от SDO/AIA на 22.06.2014 отляво - оригинално изображение, отдясно - след обработка

Представени са данни за серия от изображения, началото и край на интервала и височината на протуберанса, който е наблюдаван в описания секторна слънчевия диск. Височината на протуберанса е представена в пиксели от изображението както и приравнената височина в километри. Посочената височина е измерена спрямо края на изкуственото затъмнение.



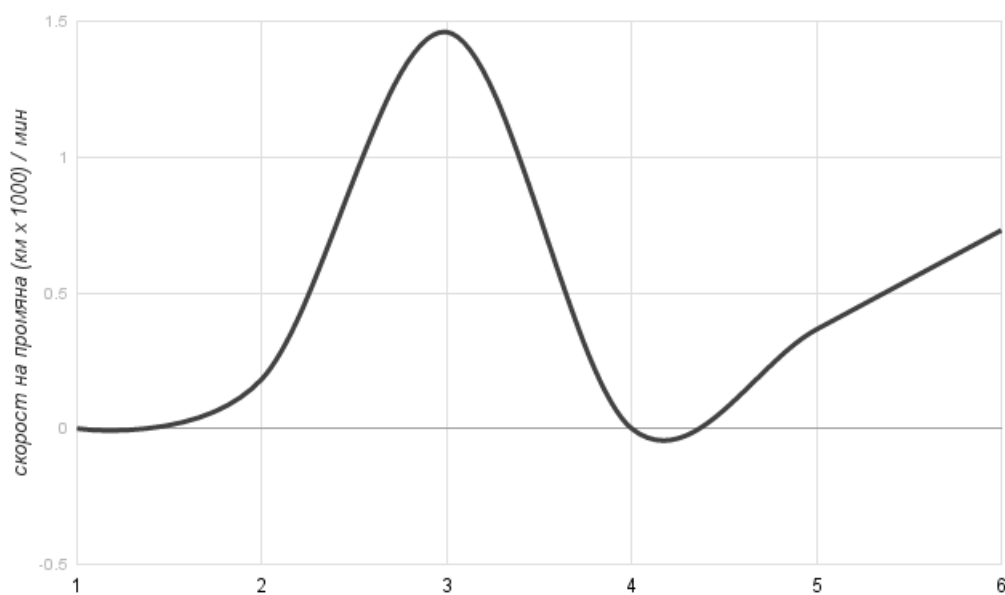
Фиг. 5.16 Диаграма "височина-време" на протуберанса, регистриран от SDO/AIA на 22.06.2014



Фиг. 5.17 Диаграма "височина-време" на протуберанса, регистриран от SDO/AIA на 15.11.2005

На генерираната по-горе графика са представени данни за развитие на протуберанс във височина за относително малък интервал от време. Както се вижда от графиката за относително кратък интервал от време имаме значително нарастване на височината на протуберанса, след което имаме малък период на затихване, последван от повторно нарастване на височината.

Аналогично на графиката по-долу са представени данни за скоростта с която се извършва промяната на височината във времето.



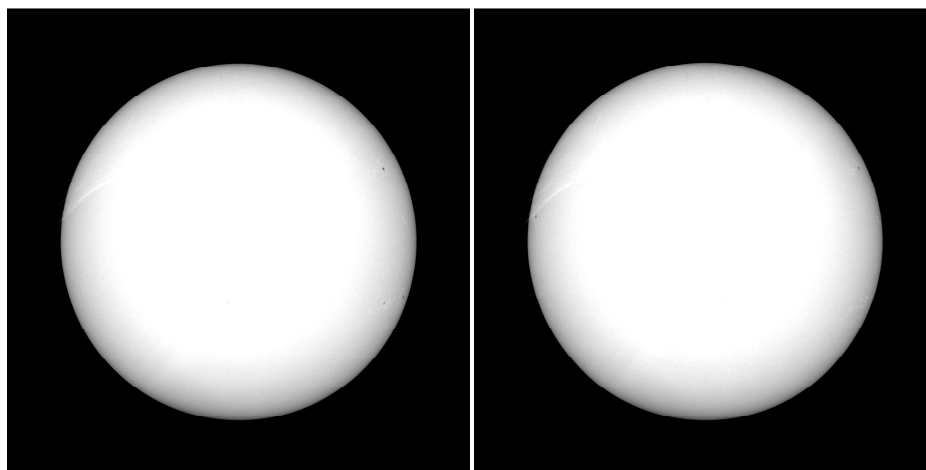
Фиг. 5.18 Промяна на скоростта на протуберанса по време на наблюдение, регистриран от SDO/AIA на 15.11.2005

Точността на измерването на височината на протуберанса от приложението зависи от няколко фактора:

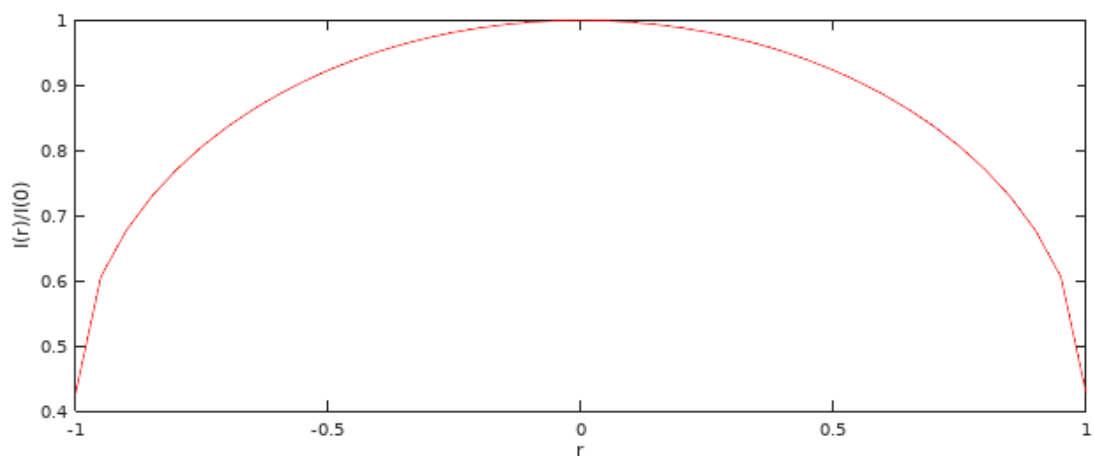
- предварителна обработка на изображенията, а именно вида на включените в нея филтри и реда на прилагането им
- входните параметри на приложението в които се посочва центъра на Слънцето върху изображенията и радиуса му в пиксели и километри

При изпълнение на приложението може да се дефинира случай "погрешно измерване", когато имаме избор на филтри за обработка, които не премахват шума, наличен в изображението с достатъчна степен. В резултат на което остават пиксели не съдържащи информация относно движението налично в слънчевата корона и не се явяват част от нея. Втората възможна причина за погрешно измерване е свързана с неправилно задаване на параметрите на слънчевия диск, а именно центъра му и радиуса на слънцето (диска на изкуственото затъмнение) спрямо който се отчита височината на протуберанса.

В процеса на изследването и респективно като част от функционалността на приложението е реализиран и алгоритъм за проследяване на пулсациите в слънчевото лъчение. Алгоритъмът използва понятието фотометрична сума, което е било представено в Глава 1. Също така и свързаните с нея крива на потъмняване на слънчевия диск и съответния коефициент. Алгоритъмът може да се изпълнява върху изображения с различна дължина на вълната, като в случая са използвана серия изображения на слънчевия диск във видимата област регистрирани от SDO на 22.06.2014. Изображенията са заснети от инструмента с интервал 1 час.

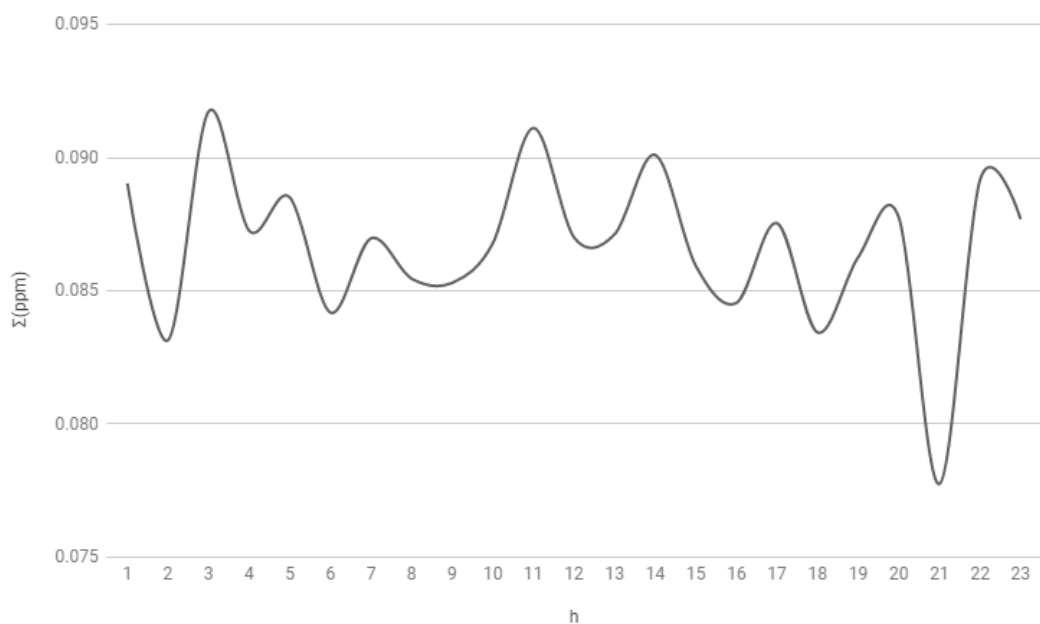


Фиг. 5.23 Две от изображенията в бяла светлина получени от SDO на 22.06.2014

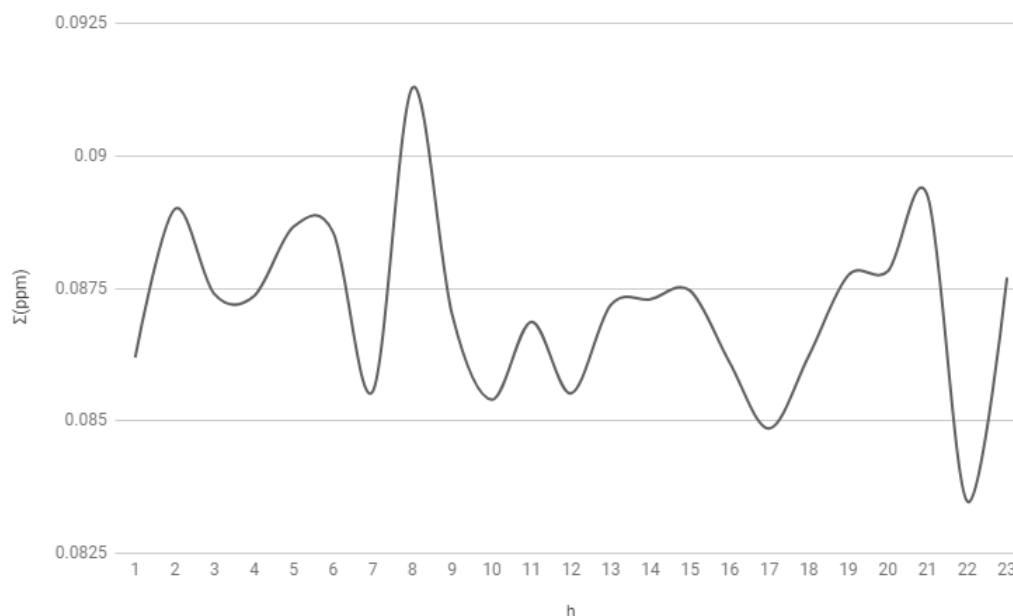


Фиг. 5.24 Крива на потъмняване изчислена при коефициент = 0.572549

Приложението генерира данни за изчисления коефициент на потъмняване, както и за фотометричната сума за поредица входни изображения под формата на csv файл, който може да бъде импортиран в софтуерни продукти за работа с таблични данни. Получените данни са представени по-долу.



Фиг. 5.25 Фотометрична сума (Σ) изчислена върху изображенията получени от SDO на 22.06.2014



Фиг. 5.26 Фотометрична сума (Σ) изчислена върху изображенията получени от SDO на 23.06.2014

В случая с измерването на пулсациите в слънчевото лъчение точността се влияе от наличните структури (петна) върху слънчевия диск. Влиянието на тези образувания може да бъде намалено до определена степен чрез прилагане на осредняващите филтри. Същото така влияние оказват структури в области близки до слънчевия лимб поради което при извършване на изчисленията за μ се използват стойности по-големи от 0.2, което съответства на $0.975R_{\text{Sun}}$.

За сравнение е представена диаграма Фиг. 5.26, получена от втора серия изображения на Слънцето във видимата светлина. Данните от серията са получени от SDO на 23.06.2014.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е приложен програмен продукт за обработка на серии изображения на Слънцето. За реализацията му са използвани съвременните среди за паралелно програмиране, чрез което се ускорява процеса на обработка на изображенията.
2. Направен е анализ на възможности за дистанционна обработка и достъп до изображения от различни хранилища, които са достъпни и се използват за работата по дисертацията. Показан е начина на използването на техните *API* за извличане на изображенията.
3. На базата на проведени тестове за възможностите на различните обработки и определяне на граници на приложимост на имплементираните алгоритми и методите за конвенционална и паралелна обработка е доказана приложимостта на използваните алгоритми за обработка на изображения на слънчевата корона и ефективността на паралелните им реализации. Дефинирани са граници на приложимост на конвенционални и паралелни методи за обработка.
4. Разработена и реализирана е методика за проследяване и визуализация на движението в слънчевата корона, чрез сравняване между две изображения
5. Разработена и реализирана е методика за автоматично извличане на данни за височината на протуберанса.
6. Разработена и реализирана е методика за автоматично проследяване на пулсациите в слънцето, на базата на фотометрична сума.
7. Изброените методики са валидирани върху реални серии от изображения. Дефинирани са границите им на приложимост и са направени изводи относно ефективността на разработения софтуерен продукт, както и са представени насоки за възможно бъдещо развитие

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Dimitar Garnevski, Petya Pavlova

Study of opportunities for remote support coronagraph's database at NAO Rozhen TECHSYS 2015, Проучване на възможностите за дистанционно обслужване на база данни от коронографа на НАО Рожен, "Fundamental Sciences and Applications" " vol.21, book 1, 2015 pp.211-214, ISSN 1310-8271

Petya Pavlova, Dimitar Garnevski, Kostadinka Koleva

Optimization on image processing in method for tracking and mapping a motion based on images of the solar corona, Bulgarian Astronomical Journal Vol. 24, 2016, pp:99-106 <http://www.astro.bas.bg/AIJ/issues/n24/index.html>

Dimitar Garnevski

Estimating impact of image parameters on method for tracking and mapping a motion in solar corona, TECHSYS 2016, Section 3 "Informatics and computer systems and technologies", pp.217-222, ISSN Online 2535-0048

Dimitar Garnevski

Parallel implementation of anisotropic diffusion, TECHSYS 2016, Паралелна реализация на анизотропна дифузия, Section 3 "Informatics and computer systems and technologies", pp.223-226, ISSN Online 2535-0048

Dimitar Garnevski

Implementation of software architecture for complex analysis of solar corona images, TECHSYS 2017, "Fundamental Sciences and Applications" vol.23 -3, 2017 pp.83-86, ISSN 1310-8271

SUMMARY

Expanding opportunities for image processing and investigation of changes in the magnetic field of the solar corona.

Author: Dimitar Garnevski

A study of the processes in the nearest star - the Sun is important because of its influence on space weather and life of the planet as a whole. Observations of solar atmosphere reveals a wide range of events, from small local jets to ejections of coronal mass in global scale (Coronal Mass Ejection - CMEs). Recognition of these events in solar corona and estimation of their characteristics is a key part of the space weather prediction process. So-called protuberance provide valuable information about solar corona magnetic field.

Typical objectives of the methods of solar image processing are: image pre-processing to eliminate noise and, if necessary, restore images, filtering images to highlight the structures and processes that take place in the solar corona automatic detection of events in the solar corona and evaluation of their characteristics.

Common objectives of this work are:

- Generation of motion map and visualization of the motion in solar corona. The motion tracking method at the pixel level is more appropriate because the protuberances have no fixed shape and can change during their evolution.
- Estimation of height of the prominence. The kinematic picture of the eruption of most protuberances (fibers) is composed of three main phases: the initial phase of activation of the protuberance, the eruptive phase of rapid acceleration, and the eruptive phase of constant velocity. The kinematics of eruption is best represented by the "height-time" diagram, which gives a good idea of the individual stages of the eruptive process.
- Estimation of the solar radiation. Estimation of connection between changes in Sun radiance and probability for solar prominence. Changes in solar radiation during periods of solar rotation are largely determined by the passage of magnetic structures through the visible solar disk. Understanding the contribution of magnetic structures to solar radiation requires an evaluation of their contribution as a function of the position on the disk. Pixel contrast in the image is measured against the center-to-limb profile of the intensity. When examining variations in solar radiation, the term photometric sum is used, which is based on the intensity in a specific point of solar disk.

Progress in technologies for solar corona registration has led to improved spatial and temporal resolution of the data. Respectively increasing the amount of information that must be processed, both by increasing the resolution of the images and by reducing the intervals between the recording of two consecutive images.

Parallel implementation of image processing algorithms involves distribution of the operations on the images between several available computational resources. Regardless of the computing devices used, the main goal of assigning tasks is to maximize the use of available computing resources (processor, memory) as well as their even load. If we look at the possibilities of distribute calculations between several computational resources, we need to take into account MPI environments that allow for the distribution of the calculations between several nodes. By using parallel programming interfaces such as MPI in combination with technology such as OpenCL for massive parallelism, can be achieved very good results in processing a large number of images.

The listed methodologies are validated on a real series of images. Their limits of applicability have been defined and conclusions are drawn regarding the effectiveness of the developed software product, as well as guidelines for possible future development.