

FPGA ИНТЕГРИРАНА СИСТЕМА И УПРАВЛЕНИЕ НА ПОДВОДЕН РОБОТ СКАТ ЗА ОТКРИВАНЕ НА ДИНАМИЧНИ ОБЕКТИ

FPGA INTEGRATED SYSTEM AND DRIVING OF UNDERVATER ROBOT SCATT FOR DETECTION OF DYNAMIC OBJECTS

инж. Росен Спиров, Петко Цанов

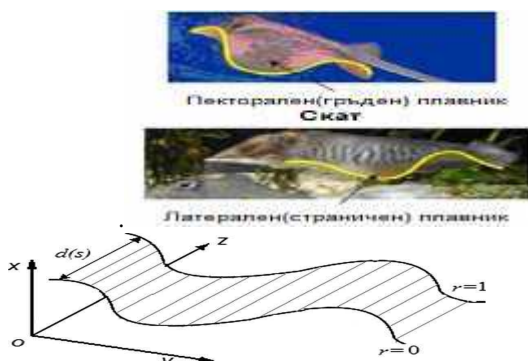
Резюме: Изследването, картографирането и манипулацията в подводна среда използва специфично приложение на компютърното зрение и има голям икономически и социален потенциал. Възможностите, които предоставя сензорна чувствителност е особено важна за провеждане на различни дейности в подводна среда и мониторинг. Представени са модели и структури синтезирани в един FPGA чип.
Ключови думи: Обработка на Изображения, Динамични Обекти, Подводни Роботи, FPGA,

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Системите за задвижване на подводни работи и манипулатори е особено важна и отговорна задача изискваща съобразяване със спецификата на подводните условия, течения, осветеност, дълбочина, налягане и др. С цел максимална маневреност, надежност са създадени огромен брой приложения на системи за задвижване. В настоящата разработка се акцентира върху създаване на роботизирана система тип скат за подводни изследвания. Задвижването се осигурява от мощни плавници, работещи под управление на стъпково генерирани модулирани синусоиди, превъплътени в механична задвижваща система. Управлението се генерира на основата на математични алгоритми заложи като база за управление на основа FPGA CycloneII и борда Altera DE2 и подходяща изпълняваща периферия [1].

II. ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА

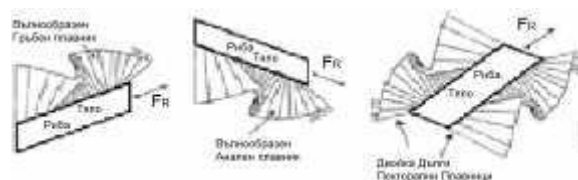
Принципи на генериране на движението под вода, реализиращо плуването на ската [5,6].



Фиг. 1. 3D принцип на движение [5]

Основен принцип в кинематиката на роботизираните системи е следване на примерите

от живата природа. В процеса на еволюцията на двигателно опорните апарати от анатомията на животинските видове са се усъвършенствали различни модели, които са основа за изследване и разработване на различни механични системи. Подводния свят е богат с многообразни и уникални форми на генериране на движение. Плавниците са неизменна част създаваща двигателната тяга, позволяваща плавност, висока скорост, сигурност, маневреност адаптирани към спецификата на водната среда. Може да се разгледа принципа на функциониране от следващата фигура.



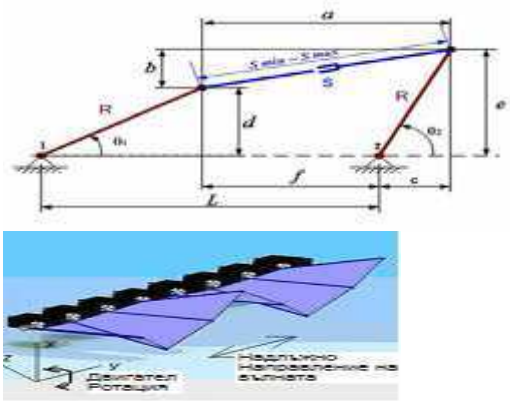
Фиг. 2. Формиране на движението [5]

Това е насоката за реализиране и експериментиране на развойна система за движение и управление на подводна роботизирана система за откриване на подводни обекти с използване на плавников механизъм за задвижване от типа морски скат, чиято кинематика можем да представим на фиг3 [8].



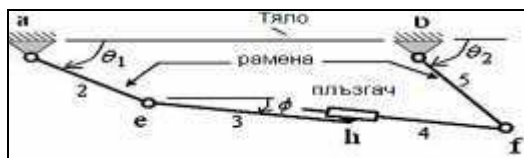
Фиг. 3 Кинематична схема на движението

Механични принципи на реализиране. Опагледяването на принципа на действие съответства на математическото описание на движението, чието осъществяване се реализира с поясненията на следващата фигура.

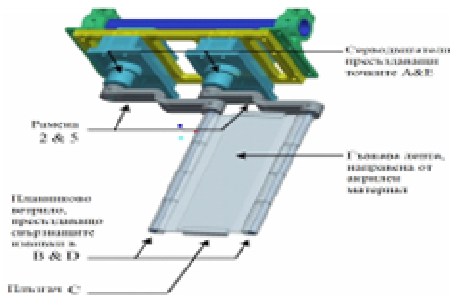


Фиг. 4 Конструкция на звено от механизма [8]

Фундаменталното движение се представя с векторно разпределение на движенията на рамената на звената в механичната система:



Фиг.5. Кинематична схема на звеното



Фиг. 6 Елементи на звеното на механизма [8]

Механизмът задвижва гъвкава свързваща лента между двете рамена и по всяко време поддържа дистанцията при промяната в позициите на раменете при движението им. Фиг.5 показва кинематичната на движението реализиращо се с 2 дамена, а фиг 6 показва практическото реализиране на механизма от средата на проекта в SolidWorks със серводвигатели, позициониращи раменете и свързващата лента. Това съединение се представя с 2 от свързаните точки от кривата описвана от загребващата лента. Степента на свобода може да се запише така [8]:

$$dof = 3(n - 1) - 2l - h \quad (1)$$

където dof е пълната степен на свобода, n е броя на връзките, включващи състоянията, l е броя на долните двойки опорни точки, а h е броят на горните двойки. Изразът (1) отразява коректно представения механизъм от фиг.5 с 2 степени на свобода, като точките А и Е се управляват всяка от сервомотор. Избраната при проектирането

гъвкава лента предпазва от фатален резултат при осъществяване на движението. Плътноста на материала, здравината и водонепроницаемостта му са важни критерии при избора. Материала трябва да има плътност такава, че водата да не пречи на движението и да не огъва лентата при нейното ориентиране [13]. Полимер-акрилните материали предоставят гъвкавост, а плътността им е 1.2 пъти по-висока от тази на водата. Робота се движи посредством двойки механизми, образуващи гребна перка, която създава вълна. Вълните, създавани от всяка от перките, се управляват чрез серводвигателите. Анализът на вълната се опростява като се разглежда само един от идентичните сегменти. Движението напред е успоредно по оста y с постоянна скорост V , и двата серводвигателя създават хармонично движение със завъртане на раменете под ъгъл като [6]:

$$\theta_1(t) = \alpha \sin \alpha(t) \quad (2)$$

$$\theta_2(t) = \alpha \sin (\alpha(t) + \beta) \quad (3)$$

В теорията е предположено, че именно тези съотношения определят за вълнообразния сегмент променлива във времето сила $K(t)$ [7]. Серводвигателите обезпечават въртящ момент създавайки импулси $Q1(t)$ и $Q2(t)$. Ако m е периода на генериране от вълната сегмент, нека F да има средна стойност за $K(t)$, и P е средната входна мощност за един цикъл, тогава [8]:

$$F = \frac{1}{m} \int_0^m K(t) dt \quad (4)$$

$$F = \frac{1}{m} \left(\int_0^m Q_1(t) \frac{d\theta_1}{dt}(t) dt + \int_0^m Q_2(t) \frac{d\theta_2}{dt}(t) dt \right) \quad (5)$$

Осреднена по време F поражда ускорение по оста x , с натиск T , които може да се представи така:

$$F = \frac{1}{m} \int_0^m K(t) \sin \phi(t) dt \quad (6)$$

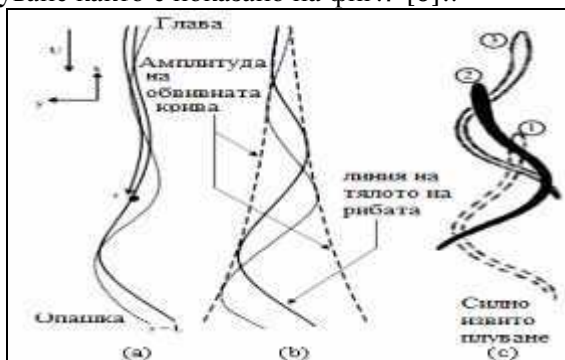
Свързвайки n броя звена, T акумулира голяма стойност, която теоретично е $n.T$. В този случай всяко хидродинамично въздействие се игнорира с тласкащи вълни покрай плавниците. Ефективността на тласкащото движение се определя в зависимост от използваната над приложената мощност P е:

$$\eta = \frac{T V}{P} \quad (7)$$

Въпреки получаването на вълнообразна техника на плуване, всяко от звената има свой собствен път на движение. Сумарно се поражда тласкаща вълна породена от движението на задвижващата лента. Това предположение се онагледява така [8]:

$$y = A e^{\alpha(s-1)} \sin k(s - Vt) \quad (8)$$

Така се моделира положението на тялото на Ската при движението му чрез генериране на вълнообразни форми, пресъздаващи процеса на плуване както е показано на фиг.7 [5].:



Фиг.7 Моделиране изтеглянето на тялото (a), амплитуда (b) и приплъзване от позиция 1 до 3 с нарастване на амплитудата от глава към опашка (c).

Тук A е амплитудата на удара с опашката, α е параметър показващ колко бързо амплитудата нараства от главата до опашката, k определя броя вълни се поражат, и V е скоростта породена от вълната на тялото.



Фиг.8 Морфологично представяне на Скат и отделяне на амплитудите създавани от гръдните плавници [5].

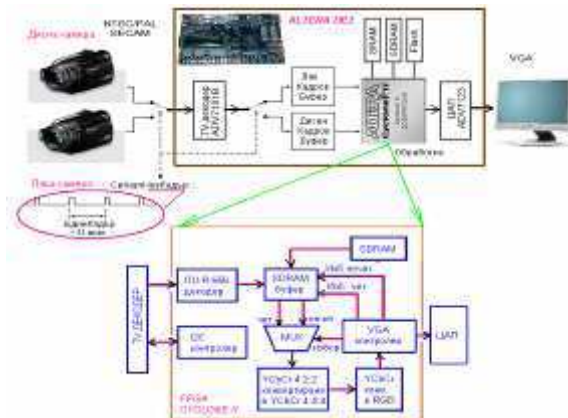
III. ПРАКТИЧЕСКА РЕАЛИЗАЦИЯ

Интерес на настоящата разработка е управлението на движението. Модула DE2 на фирмата Altera от фиг.9 включва набор периферни устройства и ядро микросхемата с програмируема логика Cyclone II EP2C35F672C6 FPGA.



Фиг.9. Борда Altera DE2

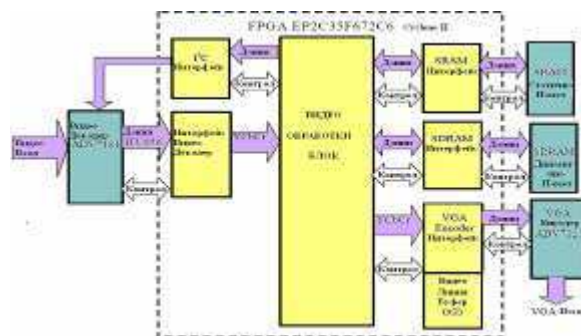
Структурата на аппаратната част от модула DE2, която е предназначена за обработка на видеосигнали е показана на фиг.10.



Фиг. 10 Апаратна част от модула DE2.

След зареждането на проектираната структура в FPGA Cyclone II, първо се конфигурира и стартира контролера на шината I2C, който програмира режима на TV-декодера. След настройване на декодера се подава входа му аналогов видеосигнал по стандартите NTSC, PAL или SECAM, а в изхода му се формира цифров сигнал във формат ITU-R 656 YCrCb 4:2:2. Този сигнал постъпва на входа на декодера ITU-R656, изграден в чипа на Cyclone II, който преобразува сигнала в обичайния формат YCrCb 4:2:2. Както при стандартните телевизионни сигнали по стандартите NTSC, PAL или SECAM е необходимо да се направи преобразуване на презредовия сигнал в прогресивен., като за тази цел в микросхемата Cyclone II се използва изграден за целта буфер в SDRAM и мултиплексор, които се управляват от VGA контролера, който генерира сигналите за избор на четните или нечетните полета. След това сигнала от формат YCrCb 4:2:2 се преобразува във формат YCrCb 4:4:4, от който се формират в последствие стандартните RGB сигнали.

VGA контролерът подава тези цифрови RGB сигнали на ЦАП, който формира аналогови изходни сигнали и заедно със сигналите за вертикална и хоризонтална синхронизация управляват VGA монитора.

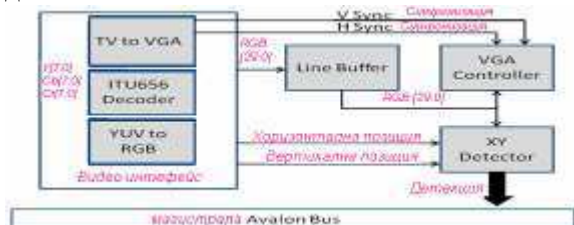


Фиг.11. Блок-схема на разположените на модули в FPGA. Представената система е в състояние да проследява обекти в различни цветове,

основавайки се на наличие на цвятова разлика между обекта и фона.

Видео камерата се включва и изпраща аналогов сигнал към TV_IN порта на борда Altera DE2, както и аналогично може да се подаде видео сигнал от VHS касетен плейър за целите на експерименти с предварително записани зашумени видео поредици, които пресъздават реалната обстановка на влошена видимост и динамични условия.

Блок-схемата от фигура 4.14 показва базовите компоненти на проектираната система, свързани към стандартната магистрала за трансфер Avalon на Altera, трансформирайки борда DE2 в специализирана система за цифрови обработки на изображения, адаптирана за следене на динамични обекти.



Фиг.12 Блокова схема на системата

С помощта на двоен линейен буфер, който се реализира в сегмент от блока на RAM паметта на FPGA се осигурява трансфер на данните между отделните блокове за обработки с честота на тактуване 27MHz за видеоконтролера и 50 MHz за магистралата Avalon. Данните за всеки ред от изображението се изпращат в обособен за целта буфер в SDRAM, който се използва в противотакт на основния процесор от DMA контролер.

На базата на вграден IP процесор Nios II се извършва цифровата обработка на изображението, което се представя в матричен вид и е разположено като данни в буфера от SDRAM. Като следваща стъпка, съдържанието на буфера от SDRAM се изпраща към VGA контролера посредством DMA. Този буфер се използва за визуализиране на изображението върху VGA дисплей. Процесорът Nios II в допълнение извършва управлението на позиционирането на Платформа1 със системата.

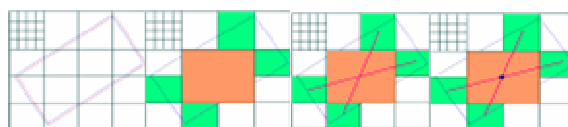
Целта е да се открие центъра на обекта, който ще се проследява и след това се маркира мястото му в изображението. Така удобно и опростено се описват откритите динамични обекти в равнината на изображението, които се апроксимират в една минимална правоъгълна област, координатите на центъра на която стават параметри на обекта $a^n(k)$. Това е т.нар. формален контурен обект (ФКО).

За експеримента въведеният буфер е с размери 320 x 200 пиксели и RGB 6:5:6 формат за данните на изображението. Чрез обработка изображението

по блок след блок се намалява броя на членовете в решаването на задачата за определяне на пикселите.

Всеки входен кадър, първо се разделя на малки блокове (в случая 16 x 16). Тогава се изчислява броя на пикселите с цвета на целевия обект, чийто център има цвета на обекта, получен от последния кадър [3].

При първия кадър просто се използва центъра на екрана като център за ориентиране на обекта. За да се реши дали един пиксел има същия цвят като цвета на обекта, поотделно се извършва сравняване на всяка пикселна R, G, и B стойност с целевата стойност в рамките на предварително определено ограничение. Процеса на работа е илюстриран с фиг.13.



Фиг.13 Работа на алгоритъма

С други думи, този блок принадлежи към целевия обект, въз основа на това, че по-голяма част от неговите пиксели са със същия цвят като обекта. Това се прави за всеки блок, и така се разпознават блоковете които принадлежат на обекта. След това, се осредняват позициите на най-високия, най-ниския, най-лявия и най-десния блок и се изчислява центъра на обекта. Стойността за центъра се съхранява и се използва за намиране на блоковете на обекта в следващия кадър. Софтуера за обработка на изображения анализира изображението и определя ориентацията на определената цел спрямо центъра на екрана и след това издава команда за завъртане надясно или наляво към платформата, докато търсения обект застане в центъра на зрителното поле на камерата.

В експеримента се детектира динамичен обект в червен цвят. На база проверяване на всеки пиксел посредством преминаване през филтриращ в оранжево модул се определя вероятността цвета на пиксела да е оранжев или не. Ако пиксела е с червен цвят, той се насища допълнително от оранжевия цвят, и координатите на ограждащия правоъгълник се актуализират с включване на новия пиксел. Ако цвета на пиксела не е определен като червен, тогава с няколко сканирания на отсяващия прозорец се обхожда цялото зрително поле фиг.14.



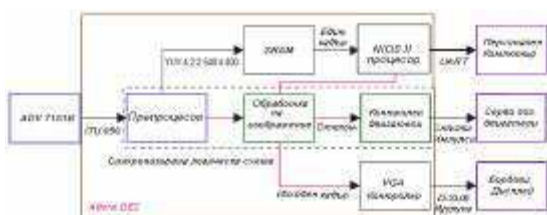
Фиг.14. Зрително поле на системата

С процес на непрекъснато определяне на цвета на пиксела като червен или не се получава информация за позицията му дали е във или вън от заграденото пространство на сканиращия правоъгълник. Ако не, тогава текущите координати на заграждащия прозорец се актуализират с включване на текущия пиксел.

След всяко сравняване на цвета се поставя условие веднъж за всеки кадър да се осъществи преместване на координатите на заграждащия прозорец към нови текущи координати и така последователно се осъществява динамиката на преместване.

Целта на детекцията в червено и процеса на сканиране със заграждащ прозорец е предизвикване на ответна реакция от контролера, който управлява позиционирането на системата спрямо обекта. Идеята е да се извърши просто движение на база координатите на текущите и предхождащи заграждащи правоъгълници като се определи как да се премести системата, така, че да се използва само *x*-центъра на текущия правоъгълник. Тази стойност се определя посредством намиране на разликите между левите и десните *x*-координати на заграждащия правоъгълник чрез намаление с преместване с един бит на долу, като в последствие тази стойност се добавя обратно към лявата *x*-координата. Получената стойност се отдава на входа на разрешаваща логика която реализира контрола на движението.

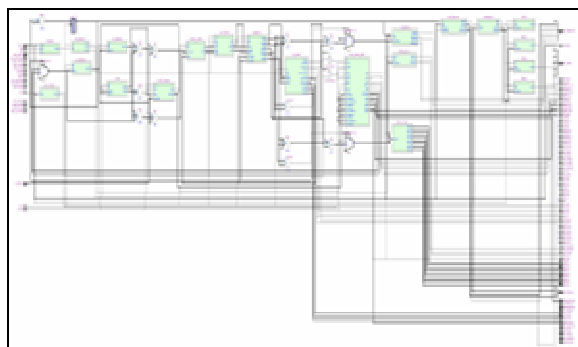
Носещата платформа, която се използва за монтиране на камерата, както е показано по-горе от опитната установка се предвижда в 2-мерна равнина с диференцирано задвижване .



Фиг.15 Блок-схема на системата [3].

В проекта на мобилната система за следене на динамични обекти е развита опростена архитектура, генерираща компенсация на изменението на динамичността на откриване на динамични обекти и управление на наблюдавания

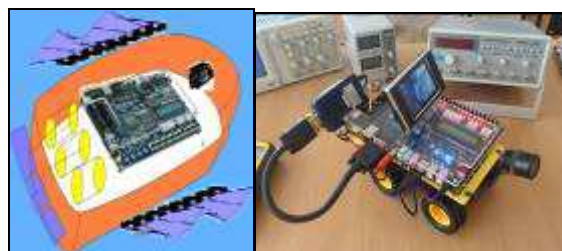
обект с реакция, изразена в изработване на управляващи ширинно-модулирани импулси за драйверите на задвижващите двигатели на носещата платформа [2].



Фиг.16. RTL схема на системата за

Така се генерира позициониране на наблюдаващата система при следенето на зададен обект.

За предварителните експериментални изследвания е направено опростяване , като е създадена мобилна платформа с управление на 4 самостоятелни задвижващи двигателя и е предвиден малък дисплей върху борда DE2 за отразяване текущия процес на обработка.



Фиг.16. Идейна и експериментална системи

Изображенията са представени в черно/бяло гама, поставеното поле, а очертаното от правоъгълника около обекта в цветно. Центъра на това поле се използва от управляващата движението логика, за да се изчисли *X* разстоянието от центъра и по този начин се определя скоростта на обекта. Резултатите показват, че проследявания динамичен обект се осветява в ярко червен цвят, докато всичко останало се замъглява и при движението. Системата точно следи движенията на обекта в реално време и го следва. Използвани са приблизително 9% от ресурсите на борда Altera DE2, според статистическите данни за хардуерната конфигурация при проектирането, генерирана от QuartusII.

Проектираният цифров PWM е обикновен брояч, който се рестартира за определен интервал време. Стъпката е варираща. За всеки тактов импулс, с който брояча намалява съдържанието си, изхода

на PWM е лог.0. За всеки тактов импулс, с който брояча увеличава съдържанието си с всяка стъпка, изхода на PWM е лог. 1. С промяната на големината на стъпката се променя импулса на PWM и се наблюдава, че тази стойност контролира скоростта и посоката на въртене на двигателя, както изисква стандарта за серво управление.

Серво двигателите се управляват с оптронно разделяща предпазна верига, комутирана директно от програмируемите изходи GPIO на борда Altera DE2, които в действителност са изводите на управляващите PWM блокове от FPGA Cyclone II.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените експериментални резултати потвърждават възможността за наподобяване естествените природни форми на придвижване, оптимално пригодени към жизнената среда. Преимуществовата на този тип задвижване се изразяват в адаптацията към променливите условия на околната среда и възможностите за бърза реакция за предотвратяване на конфликтни ситуации. Синтезирането на движението и неговото управление използва възможностите на технологията FPGA за паралелна обработка на изображенията от приемания видео поток, което гарантира работа в реално време. С ниската си консумация на енергия, висока надеждност и точност разгледаното приложение може да бъде в много случаи решение в мобилните автономни роботизирани комплекси а също и в системите за разширен обзор, наричани още EVS комплекси.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Altera “DE2 Development and Education Board” DE2 Package, or [available online at] <http://www.altera.com>
- [2] Advanced Microcontroller Final Projects, or available online at: <http://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece5760/FinalProjects/>
- [3] Alexander S.T. Adaptive Signal Processings Theory and Applications. Springer-Verlag, 2006.
- [4] Application Note AN-144, „Sync Dual-Ports for DSP & Comm Application. IDT Inc., 2000

[5] Blake R, Fish functional design and swimming performance, *Journal of Fish Biology*, vol.65, pp.1193–1222, 2004.

[6] Hu T, L. Shen, L. Lin, H. Xu, Biological inspirations, kinematics modeling, mechanism design and experiments on an undulating robotic fin inspired by *Gymnarchus niloticus*, *Journal of Mechanism and Machine Theory*, vol. 44, pp. 633-645, 2009.

[7] Kato N, Median and paired fin controllers for biomimetic marine vehicles, *Journal of Applied Mechanics Reviews*, vol. 58, pp. 238–252, 2005.

[8] Low K., A. Willy, Biomimetic motion planning of an undulating robotic fish fin, *Journal of Vibration and Control*, vol. 12, pp. 1337-1359, 2006.

За контакти:

9010, Варна, ул. “Студентска” 1
ТУ-Варна “ОУЛ по Електроника”,
9010, Варна, Ул. Студентска № 1, 606Е
e-mail: rosexel@abv.bg

Петко Цанов
ТУ-Варна, кат. ЕТМ, ФЕ,
9010, Варна, Ул. Студентска № 1,
e-mail: : pepitas@dir.bg