

## 8. Авторска справка за научните приноси на трудовете

В моята професионална практика работата ми е обхващала изучаване и разработки в две основни научни направления:

1. Кодирание на воден знак върху звуков носител, пряко свързано с психоакустиката.
2. Изучаване и създаване на методи и алгоритми, свързани с автоматизирането на процеси в сферата на взаимодействието между човек и компютър. По-специално, основната насоченост на моите научни изследвания се фокусираха върху разпознаване на емоциите в говора.

Постигнатите резултати са отразени в представените за конкурса научни публикации и могат да бъдат групирани в следните направления:

1. Кодирание на скрита информация в звукова среда с цел увеличаване на данните без да се увеличава обема на основния звуков сигнал.
2. Подобряване и обогатяване на метаданните посредством кодирането им върху звуков носител.
3. Патентоването на алгоритмите за кодиране на скрита информация и приложението им в практиката.
4. Автоматично извличане на параметри от звуков носител на говор от различен характер и тяхната роля при разпознаване на емоциите.
5. Намиране на оптимални параметрични вектори, спомагащи разпознаването на емоциите в говора в реална среда.
6. Оценка на корпусите, класификаторите и анализ на статистическата зависимост.

Като резултат от последната ми работа в разпознаването на емоциите издадох монография, съдържаща новите методи на извличане на полезни параметри при различни звукови условия. Монографията има за цел да акцентира върху научните нововъведения в областта, да популяризира приноса на методиките, както и да служи за учебно четиво в специализирани курсове.

### 1. Кодирание на скрита информация в звукова среда с цел увеличаване на данните без да се увеличава обема на основния звуков сигнал

*Тези резултати основно са представени в дипломната ми работа от втората магистратура в University of Miami и в статии [8], [9], [11]*

Този труд изучава и създава нов метод за адаптивно многоканално кодиране посредством използването на фазовата компонента в честотния спектър на отделни блокове от основния звуков сигнал. Изобретената технология е свързана с нов начин за кодиране на множество битове върху определена честота, което увеличава драстично капацитета и ефективността на системата. За да

бъде постигнато високо ниво на отношението звук-шум, амплитудата на сигнала е оставена без промяна. За намаляване на нивото на шума спомага и фактът, че алгоритъмът използва оригинална адаптивна система, която следва нивата на основния сигнал в момента на кодиране. Тъй като във всяка от използваните честотни ленти всички честоти лежат на критична дистанция една от друга, техните нива на промяна на фазите са сходни, което спомогна за намаляване на шума в момента на кодиране. За да бъде намалено възприятието за промяна в сигнала до перцептуален минимум, емпирично бяха определени психоакустични нива, които бяха използвани в процеса на кодиране за всяка една честотна лента.

В това проучване е постигнато драстично увеличаване на капацитета на скритите данни върху звуков сигнал с цел съхранение, предаване и обогатяване с метаданни. Методът има директно практическо приложение в много сфери на звукоинженерството и света на мултимедиите. Съществуват няколко метода за кодиране на данни върху звуков сигнал, които позволяват по-ефективно използване на данните, предавани по основния носещ сигнал. Един такъв метод е базиран на изучаването на сходната и повтаряща се информация. Ако тази информация бъде отстранена, сигналът може да бъде представен с по-малко битове информация като същевременно се запази качеството на оригиналния звуков носител. Този тип кодиране не носи загуби на оригиналния сигнал. Другият и по-често срещан метод в практиката е т.нар. "perceptual coding", който е базиран върху психоакустиката. Посредством използването на такива алгоритми се постигат огромни компресии във всеки един медиен носител, в случая звуков. В основата на психоакустичните методи, използвани за компресия в световната практика, стоят модели на честотно маскиране. Едно важно предимство на "perceptual coding" методологията е възможността за кодиране на отделен и допълнителен канал от данни върху всеки звуков носител, което е в основата на това проучване. Този тип кодиране на данни е свързан с промяната основния звуков сигнал и по-конкретно с частичната му загуба, известен в литературата като "lossy" тип.

В сферата на цифровия звук фазата и амплитудата могат да бъдат разделени в честотната област по сравнително лесен начин, използвайки разлагане в ред на Фурие. Промяна само на един от двата параметъра може да бъде направена, въпреки че възприятието на новополучения сигнал може да бъде неестествено, тъй като от акустиката е известно, че фазата като времеви параметър в комбинация с амплитудата играе ключова роля за локализация на звука. В този смисъл новият алгоритъм бе подложен на психоакустични тестове, които преминаха благополучно и като допълнение към основния принос на този труд бе доказано също така, че оригиналният звуков носител беше запазил качествата си след кодирането на допълнителната информация в него. Една от основните причини за това бе, че промените на сигнала бяха направени по начин, който възможно най-близко имитира оригиналния сигнал. И тъй като този метод не изисква сложни изчисления, той може да бъде имплементиран в реално време и да бъде лесно приложим в практиката.

## **2. Подобряване и обогатяване на метаданните посредством кодирането им върху звуков носител**

*Тези резултати основно са представени в статии [9], [10], [11].*

Основните сфери на приложение могат да бъдат: медийно излъчване в ефир, стрийминг на медийни данни, в CD-audio, в DVD стандарт, както и във всеки вид медия, използваща звук като метод за комуникация където звукът е в цифров или аналогов вид. По същество този метод е от "lossy" тип и е с вариращо-адаптивен характер, което спомага за кодирането на повече от един бит върху дадена честота, където това е възможно. Като допълнение беше установено, че скритият кодиран сигнал може да претърпи цифрово към аналогово преобразуване и да бъде съхранен

след нова цифровизация на сигнала. Други важни фактори в този научен труд бяха синхронизацията и намирането и коригирането на грешки в процеса на кодиране. Кодирането на множество битове в една честотна лента изисква висока точност по време на кодиращия процес, което бе постигнато само върху цифров сигнал. Методът беше използван върху множество звукови сигнали с различно качество от 8 до 20 бита на звуков семпъл.

### **3. Патентоване на алгоритмите за кодиране на скрита информация и приложението им в практиката**

*Тези резултати основно са представени в статии [8], [9], [11] както и в патентите предоставени по-долу.*

Новаторството в изобретената методология за кодиране на информация по гореспоменатия начин доведе до нуждата от патентоването на този труд с цел комерсиалното му популяризиране както и запазване на авторските права. В тази връзка бяха отдадени ексклузивни лицензи на две основни компании последователно във времето, и по конкретно на UTEK и Bitzmart. Това доведе до получаването на приходи за научни изследвания в Университета на Маями, както и директно в Инженерния колеж на университета. Това беше първия патент в 75 годишната история на колежа, дошъл от софтуерно нововъведение. Като допълнение събитието бе мащабно отразено от Асошиейтед прес, както и от най-големите вестници на Флорида: Miami Herald, Sun-Sentinel, The Business Journal Tampa Bay и др. Множество статии излязоха в електронни интернет източници като: Excite, CNET, Business Wire, Financial News и др. Няколко години по-късно, когато патентите бяха издадени официално в САЩ, Българските медии също отразиха събитието: на заглавна статия на “24-часа” както и в Панорама.

### **4. Автоматично извличане на параметри от звуков носител на говор от различен характер и тяхната роля при разпознаване на емоциите**

*Тези резултати основно са представени в дисертационния ми труд изложен по-горе, както и в статии [6], [7]*

Това проучване се фокусира върху разпознаване на емоциите, предавани чрез говора. Основните цели бяха три. Първата бе да се проучи ролята, която играе глоталният източник на гласен сигнал в изразяването на емоционална реч. Втората бе да бъде проучено дали той може да осигури подобрена устойчивост в реални условия на шумна среда. Това беше постигнато чрез тестове при чисти и множество условия на шум. И третата цел бе, да бъдат сравнени параметрите на глотиса с различни други параметрични области, включващи, както добре утвърдени, така и нововъведени области в този труд. За целта беше предложена нова компонента на глоталната симетрия, като тя е автоматично извлечена от речта посредством обратно филтриране. Също така, в детайли бе разгледана ефективността на няколко метода за обратно филтриране при извличане на глоталния сигнал от речта. Освен глоталната симетрия, са изследвани два допълнителни класа параметри. Това са: тоналните и прекъсващи индекси (ToBI) (Tonal and Break Indices – ToBI) на американо-английска интонация и мел-честотните кепстрални коефициенти (Mel Frequency Cepstral Coefficients – MFCC) на глоталния сигнал. За задачата са създадени три корпуса съдържащи данни с емоционални гласове. Първите два изследват четири емоции: *щастлив*, *ядосан*, *тъжен* и *неутрален*, а към третия се добавят *страх* и *изненада*. Тази работа показва, че глоталният сигнал съдържа ценна информация за емоционалните състояния и има много предимства пред други конвенционални методи за извличането им. За чиста реч, при използването на четири емоционални класа, с помощта на класически прозодични параметри се постигна положително

разпознаване от 89.67%. ToBI, в комбинация с класически параметри, достигна 84.75% разпознаване, докато глоталната симетрия сама по себе си показва 98.74% успеваемост. В задачата с шест класа емоции, тези три метода постигнаха съответно 79.62%, 90.39% и 85.37% разпознаваемост. Използването на глотания сигнал също така показва по-голяма устойчивост на класификация в условия на шум и изкривяване на сигнала, посредством използването на нискочестотно-пропускателен филтър (lowpass filter). По-конкретно, при наличието на бял гаусов шум с отношение сигнал-шум  $SNR = 10$  dB при шест емоционални класа, класически характеристики, и класически с ToBI в комбинация, и двата метода не успяха да покажат успешни резултати. Използването на Мел коефициентите на речта (MFCCs) постигна разпознаване от 41.43%, а глоталната симетрия достигна 59.29% успеваемост. Тази работа показва, че глоталният сигнал, и в частност глоталната симетрия, предлага добро разделяне на класовете от емоции и в двете проучвания – с четири и шест емоции. Глоталната симетрия е нова параметрична област в разпознаването на емоции в гласа, която показва, че значително надминава предишно използваните параметри както в чиста, така и в шумна среда.

В това изследване бяха поставени три основни цели:

1. Да се определи дали глоталният сигнал носи емоционално съдържание и дали той може да се използва като средство за разпознаване на множество емоции в речта;
2. Да сравни ефективността на глоталния сигнал към вече предложени области от параметри, извлечени от сигнали на говор;
3. Да установи стабилността на новия метод за разпознаване на емоции в по-реалистичен сценарий, посредством използването на различни звукови деформации и шум.

Проблемът с разпознаване на емоциите в шумна среда не е изследван напълно и литературата по този въпрос е оскъдна, което дава основната мотивация за тази работа. Повечето изследвания се занимават със записи на говор, приготвени в много специфична и добре контролирана среда, като студио или анекоична камера (anechoic chamber). Това проучване се отнася към проблем на разпознаване на емоциите в говора, разглеждайки различни аспекти като: намирането на оптимален брой параметри извлечени от говора, прилагането на различни условия на шум в звука, различни методи на обучение на класификаторите, и др. Тази работа едновременно изследва проблема в среда на контролирано студио, както и в среда от "реалния свят" в шумна обстановка, като по този начин се приближава до практически приложения.

Платформата на това научно изследване включва: чист, шумен и тежко деформиран говор посредством филтриране. Данните са подредени в три различни комплекта за тестване, а именно: А. говорител-балансиран и текстово независим тест; Б. глотална симетрия и говорител-балансиран, текстово независим тест; и В. говорител-небалансиран и независим тест, като тук се включват всички емоции, всички изказвания и всички говорители.

## **5. Намиране на оптимални параметрични вектори, спомагащи разпознаването на емоциите в говора в реална среда**

*Тези резултати основно са представени в статии [1], [2], [3], [4]*

Тук фокусът е да се изследват предложени в предишната точка параметри в реална среда както и да бъде намерено приложението им за търсене, намиране и препоръка на медийно съдържание. Използват се и различни емпирични методи, симулиращи условия на шум в реална среда. За целта са изследвани шест основни емоции: *гняв, щастие, тъга, неутрална, страх и изненада*. Избраните шест емоции са по-трудно разделими, което представлява допълнително предизвикателство в това проучване. Те са тествани в три различни речеви корпуса. В първите два

корпуса са включени за оценяване само първите четири от емоциите, а третият корпус разглежда всичките шест. За сравнение, са изследвани пет параметрични области включващи нови и класически методи. Класическата прозодична област с параметри се базира на екстракцията на *тон, енергия, скорост, ускорение и дължина на тона*. Параметричната област ToBI използва тонални елементи. Другите три от предложените области разследват глоталната симетрия и MFCC-та на сигналите на речта и епиглотиса. Задачата бе да бъде използвано автоматично извличане на параметри за всички методи, които са от интерес в проучването – задача, която се оказва далеч от тривиална. Беше направен опит да се намери система, която адресира проблемите за извличане на параметри и подбор чрез разследване на взаимната параметрична информация от набора атрибути, като същевременно се целеше да се повиши успеваемостта на разпознаване на супервизираното обучение на класификаторите. След като наборът от параметрични атрибути беше финализиран във всяка от областите, те бяха тествани в третия корпус, който включва шест емоции и беше използван за да се демонстрира параметричната устойчивост в шумни условия от реалния свят и при условия на емоционален мулти-говорителен обмен.

Изпълнено е обширно и подробно тестване на всички параметрични области от първите два корпуса. По-конкретно, използвани са глотална симетрия (GS), ToBI, MFCC и класически прозодични параметри. В зависимост от гледната точка на изследването, имаше серия тестове от различни категории, извършени върху корпуса:

1. От гледна точка на качеството на сигнала, тестовите включваха:
  - чист говор;
  - говор с шум от 10dB и 30dB съотношение сигнал-шум (SNR);
  - говор, обработен с нискочестотно-пропускателен филтър (LPF), което вкара големи изкривявания в речта, до точка, до която я направи практически неразбираема.
2. От гледна точка на представянето на данни и подредба, включените изследвания са:
  - говорител-зависими и израз-небалансиран за всеки отделен говорител;
  - говорител и текст-независими, израз-балансиран със 100 израза на емоция и произволен брой говорители;
  - глотална симетрия балансиран, говорител и текст-независими за емоция и за говорител;
  - говорител-независими небалансирани включвайки всички емоции, всички изказвания, всички говорители.

Чрез първоначално тестване на корпуси 1 и 2 бе събрана необходимата информация за да бъде установено, че наистина съществува емоционално съдържание във всички параметрични области, които са използвани. Също така, то предостави необходимата фина настройка за определяне на броя и вида на параметрите, които да бъдат използвани в по-нататъшния и по-точен избор на параметричния вектор. За да отговори на по-строгите изисквания в по-неконтролирана и реалистична среда, използването на третия корпус бе необходимо за да продължи търсенето на най-стабилната параметрична област от всички използвани тук, а също и да изследва разделянето на класовете сред шест емоционални случая. Тук трябва да се подчертае, че първоначално записаните гласови данни в корпуси 1 и 3 носят по-високи нива на фонен шум, отколкото тези в корпус 2.

## **6. Оценка на корпусите, класификаторите и анализ на статистическата зависимост**

*Тези резултати основно са представени в статии [4], [5], [6], [7]*

### Корпус 1

Една от новите параметрични области, предмет на това изследване, е ToBI, за която автоматичното откриване на параметри следваше общите правила на анотация в тоналната област, като по този начин фокусът остана единствено върху тоналните зависимости на речта. По-конкретно, системата описва формата на глоталната звукова вълна в рамките на всеки един интонационен израз.

Установено бе, че за класификаторите, използващи ToBI параметри, значимост има броят на повторения на различни акценти в тоналната област, а не точното време на възникването им и последователността на тези акценти. Една от причините за това е, че класическият подход по естествен начин осигурява вектори с фиксирана дължина без отрязване на полезни данни, което е подходящо за класификацията.

Оценката на цялостната система, при използването на: а) ToBI, б) класическа прозодично-параметрична област, и в) - комбинация на предишните параметри, показват, че комбинираният метод се представя по-добре, отколкото когато първите две системи се използват поотделно. Подобрене на изчислителна скорост и точност на системата се получи след селекция, постигната чрез анализ на взаимната информация (Mutual Information) между отделните параметри. Резултатите бяха допълнително тунинговани с помощта на оптимизация по метода на последователния напредващ подбор (Sequential Forward Selection), вследствие на което броят на параметрите бе намален. Като цяло, намаляването на броя на елементите на параметричния вектор достигна 45% и доведе до 3 пъти по-ниска изчислителна стойност, като същевременно бе постигнато над 20% подобрене на разпознаването.

Извършването на повече тестове, заедно с използването на по-голяма база данни с по-голямо разнообразие от субекти с различен пол и възраст, бе ключово за подобряване на системата, което наложи разработката на *корпус 2*. Освен това в допълнение към GMM бяха разгледани и други алгоритми за класификация като k-NN, SVM, и други.

### Корпус 2

Сигналът от гласните струни, който е квазипериодичен по време на действието си, предава важни характеристики за самоличността на говорителя, както и за стила на говорене. Редица изследвания сочат ключовата роля на изразяване на висок, мек и стресов глас. В това проучване ролята на глоталния сигнал е изследвана за класифициране на емоциите. Глоталната вълна на първата гласна част на речта бе извлечена чрез обратно филтриране. Изчислени са глоталната симетрия, както и MFCC векторите на различни дължини и са използвани за обучението и изпитването на седем различни системи за класификация. Бе обработен съответният сигнал на говора и бе изследвана ефективността на подобни параметрични вектори с различни дължини. Беше тествана също комбинация от най-ефективните глотални и речеви функции.

Методът на оптимална пътека (Optimum Path Forest – OPF) бе използван като нов метод за класификация с приложение за разпознаване на емоциите, като показва добра производителност за не-лесно отделими класове. Това беше и случаят с разглеждания тук проблем. Неговата ефективност се дължи на избора на прототипи, базирани на “минималното разделящо се дърво” (Minimum Spanning Tree – MST), които свеждат до минимум грешките на OPF в тренировъчната серия на класификатора. Производителността на метода бе сравнена с установените по-рано системи за класификация.

Докато границите на грешките на новоприложения метод не са теоретично доказани, значителните експериментални резултати показват, че грешката при класиране в тренировъчната фаза е минимална, поради връзката между Минималното разделящо се дърво MST и Кратките разклонения (Shortest Path Trees – SPT), определени като  $f_{max}$  функция на дължината на изминатия

път, използвани от OPF. Ето защо, ако се приеме, че тренировъчната фаза е добре представена извадка на проблема, тези грешки в тестовата серия ще бъдат сведени до минимум. Въпреки това, когато прототипите са оценени от MST, грешка може да се прояви и в тренировъчната фаза, в случая когато една проба  $t$  може да намери два или повече оптимални маршрута от прототипи на различни емоционални етикети. Ако оптималните пътеки, които достигат  $t$ , принадлежат на MST, тогава прототипите избягват грешките по пътя си. Ето защо, ако се приеме, че резултатите в групата за обучение могат да бъдат удължени до тестовата серия, може да предположим, че горната граница на грешката съответства на броя на тези проби. Трябва да се има предвид, че това със сигурност е горната граница на грешката за тренировъчната серия.

Резултатите потвърждават, че гласната информация е богата на емоции и представлява много ефективен източник за разпознаването им. Толкова прости параметри като последователност от глотална симетрия в началото на изказване, се оказаха доста ефективни за класификация. MFCC от ниско ниво показва най-точно разпознаване на емоциите, което означава, че приложение на такива класификатори в реално време е напълно възможно. Глоталната информация е по-ефективна, отколкото речевата сама по себе си. От друга страна, комбинацията от глотална и речева информация, използвани в *корпус 2*, доведе до леко занижени характеристики на разпознаване.

Най-успешна класификация бе постигната със SVM и OPF; а най-ниската бе постигната посредством използването на GMM. По отношение на изчислителното време,  $k$ -NN бе най-бързо. За двата най-добри класификатора OPF е значително по-бърз от SVM, което прави първият доста привлекателен за това приложение.

Както бе споменато по-рано, този корпус предостави говорител- и текст- зависима среда, от което следва, че получените резултати са постоянно по-добри от тези, получени от други корпуси. Това улеснява поставената цел при изпитването на *корпус 2*, а именно да се установи, дали MFCCs на речта и глоталният сигнал могат да играят роля в областта на разпознаването на емоции. Работата в *корпус 3* разширява работата с текстове, които не се виждат от класификаторите и включва повече емоции. В нея бе използвана по-качествена среда на записа както и шумна акустична среда, постигната чрез използването на различни комуникационни канали с цел постигането на по-реалистична среда от ежедневието.

### *Корпус 3*

Една от целите на *корпус 3* бе да се проучи работата на глоталната симетрия като разделител на класовете при увеличаване броя на емоциите до шест. Представянето на атрибута бе анализирано при чисти условия, както и в няколко различни шумни условия. Данните показват, че разпознаването в по-голямата си част бе над 50% за всеки клас от емоции. Сравнението в "GS Clean Speech" категорията между два балансирани теста, базирани на говор и глотална симетрия (GS), показва, че първият се представя по-добре, както при 4 така и при 6 емоционални класа. Въпреки това, разликата между текстово зависим балансиран и небалансиран тест е незначителна. Подобна е ситуацията и при говор с използването на нискочестотно-пропускателен филтър (low-pass filter – LPF), с тази разлика, че процентът на успеваемост като цяло е по-нисък за всички класове. Това, както се очаква, се дължи на огромното ограничение в честотната лента с цел намаляване качеството на речта посредством филтриране.

Тестът за устойчивост продължи чрез добавяне на бял гаусов шум (White Gaussian Noise - WGN) с чиста реч при SNR = 30 db, където се наблюдаваха изключително високи нива на разпознаване до 94% за клас "Ядосан" при тест с 4 емоционални случая и 81%, когато бяха използвани 6 емоции. При SNR = 10 db, степента на постигнатото разпознаване беше 55% при 4 емоции и 59% за комплекта от 6 класа емоции.

В следващия кръг от тестове бяха използвани кепстралните коефициенти MFCCs. Въпреки, че резултатите им са значително по-ниски от съответните в чиста реч, те показаха висока консистентност в шумна среда, и по-специално в случай на  $SNR = 10$  db за двата 4 и 6 емоционални класове. Сравнявайки резултатите за  $SNR = 10$  db в GS, с тези на глоталните MFCC коефициенти, GS е много по-надежден при сериозно влошаване на качеството на сигнала. Данните показват, че класическите прозодични особености на чиста реч, са сравними с тестовете направени с *корпус 1* за 4-емоции.

Въпреки че класическите параметри се представиха добре, използвайки чиста реч, те не работиха добре в нито една от шумните среди, използвани тук. Сравнявайки нововъведените параметри в *корпус 1* на комбинирана система, използвайки класически прозодични и ToBI параметри в случаите, когато се използват самостоятелно класическите функции, може да се види, че ToBI подобрява разпознаването при добавянето си към класическите прозодични настройки на системата, с което се потвърждава значението на тази нова параметрична област. Тази комбинация обаче не успя да покаже задоволителни резултати, когато бе приложена в условия на шум.

#### *Анализ на статистическата значимост*

Статистическата значимост показва вероятността, свързана с нулевата хипотеза. На практика, когато вероятността става по-висока, съмнението за нулевата хипотеза намалява. Ако нулевата хипотеза съществува, това означава, че едно определено решение не е информативно и е базирано на случаен принцип (Duda и др., 2001). Типичните стойности на вероятностите варират между 0.0001 и 1. Колкото повече тези стойности се издигат над определено ниво, в зависимост от степента на свобода  $d_f$  и ниво на значимост  $\alpha$ , толкова повече може да бъде спечелено доверие към оригиналната хипотеза. Въпреки това се очаква да се използва ниво на доверие от  $\alpha = 0,01$ , като стойностна вероятност на приемане на хипотезата. Тестването на хипотезата, трябва да бъде такова, че да поставя смислен въпрос към значимостта на решението на базата на случайни извадки на данни от набор от стойности в даден вектор. Тестването на хипотезата първо изчислява разпределението на хи-квадратично разпределение, както е показано във формула 4.1. Нулевата хипотеза се приема, ако вероятността от наблюдението държи стойности над тези, дадени в таблица 4.1 за дадена стойност  $\alpha$  или се отхвърля, в противен случай. В този смисъл, статистическа значимост е наблюдението на по-екстремна статистика в сравнение с предварително изчислена вероятност. Разпределението на хи-квадрат зависи от степента на свобода. Лесен начин за намиране на степента на свобода е като се знае броят на класовете, участващи в тестовете. В случаите на сравнение на няколко класа емоции ще бъде по-голямо от 1. Разпределението на хи-квадрат е сумата на квадратичната разлика между наблюдаваните  $k$  данни и очакваните  $e$  данни, разделени на очакваните данни.

Резултатите показват, че статистическата значимост е много висока, поради което нулевата хипотеза се отхвърля. Това доказва, че резултатите, показани в раздел 7 за балансираните тестовете на глотална симетрия имат по-високо значение от 99,99% и не са резултат от произволно решение. Ето защо, с висока увереност може да се заключи, че получените резултати дават истинска представа за решението на възложените задачи и изследвания, както и за реализирането на разработената тук система.

Дата: 27.02.2017

Подпис: .....



## Резюмета на представените материали

### Дисертация:

***Iliev, A.: Emotion Recognition Using Glottal and Prosodic Features. PhD Thesis, University of Miami, Florida, USA, 2009.***

Анализирайки данните, събрани от експериментите и имайки предвид целите, поставени в тази работа, може да се заключи с голяма увереност, че глоталната симетрия съдържа богато емоционално съдържание и може да бъде използвана ефективно за разпознаване на емоциите посредством говора. В този труд беше показано, че глоталната информация е значително по-надеждна, отколкото класическите прозодични параметри и е по-устойчива към условия на шум, отколкото всички други параметри, анализирани в процеса на това проучване. Ниската честота на глоталния сигнал поддържа способността си да оцелее на тежките условия на нискочестотното филтриране. Ограничение на системата може да бъде точността на извличане на моментите на глотално отваряне и затваряне в ларинкса, което бе решено посредством изграждането на подходящо честотно групово забавяне (group delay) чрез настройките на високочестотно-пропускателния филтър, а именно честотата на отрязване. Това е особено важно, когато системата се изпитва за устойчивост при шумни условия. Освен това бе доказано, че, въпреки че Мел честотните кепстрални коефициенти (MFCC) не са толкова ефективни в *корпус 3*, в сравнение с тези в *корпус 2* в чиста реч, те показват по-добра устойчивост, отколкото класическите параметри при шумни условия до SNR = 10 db. И накрая, беше показано, че тоналните и прекъсващи индекси (Tonal and Break Indices - ToBI) в тонално-параметричната област могат да помогнат за подобряване на класификацията и правилното разпознаване на емоциите. Двете параметрични области, ToBI и класически прозодични параметри, бяха допълнително селектирани с цел увеличаване на ефективността и подобряване на класификацията. Това бе показано в *корпус 1* и в *корпус 3* за разпознаване съответно на четири и шест емоции. Изчислената статистическа значимост потвърди доверието в получените резултати.

### Монография:

***Iliev, A.I., "Emotion Recognition From Speech", Lambert Academic Publishing, 2012.***

Монографията има за цел да изложи основните методи за разпознаване на емоции в човешкия говор, както и да представи нови тенденции в областта посредством създаването на различни звукови корпуси и изследването им в различни условия наподобяващи реалния свят. В нея са изложени различните видове обласи на говора, от които мога да се извлекат параметри, които биха повлияли благоприятно върху точността на разпознаване. Като част от една завършена система за изследване основна роля играе и избора на различни методи за класификация на параметричните вектори. Използвани са както конвенционални така и нови методи за намиране на образи от матрични данни, съдържащи до шест различни емоционални състояния. Всичко това бе изследвано в различни условия с цел да бъдат намерени оптималните параметри, при които системата работи с висока точност при лошо качество на основния сигнал. Беше предложена нова среда за разпознаването на емоциите в човешкия говор, която работи с високо качество при наличие на различен шум. Това прави изследванията пълни и показва, че новопредставените методи могат да имат приложение в практиката.

**Глава 1 “Въведение”** – прави въведение в темата като изяснява видовете емоционални състояния и начините, по които хората предават емоциите си. Това обхваща не само говора, но и други области от визуален, психологичен и чисто физиологичен характер. Прави се паралел между методите и се акцентира върху причините, които налагат изследването да бъде концентрирано основно върху говора. След това се прави дълбок анализ на възможните видове параметри, които могат да представляват интерес и да бъдат обект на изследването. Навлиза се в области като фонетика, прозодия и лингвистика за да бъде изяснено по какъв начин тези области биха повлияли върху процеса на автоматично разпознаване на емоционалното състояние на говорителите. Наред с горепосочените конвенционални области се предлагат и нови области, които представляват основната част на изследването а именно ролята на глоталния сигнал и как той се използва за постигане на целите, поставени в този труд. Използват се области като ToBI – система за прозодичен анализ на говор, която се използва за разпознаване на емоциите по нов оригинален начин. Друга интересна област използвана в тази работа е MFCC или кепстралните Mel коефициенти, които се ръководят по логаритмичен закон, рефлектиращ линейното човешко възприятие за звук, което от физична гледна точка е нелинейно.

**Глава 2 “Възпроизвеждане на гласна реч”** – навлиза в детайлите на физиологичния процес на възпроизвеждане на човешки говор. Това е задължително условие за да може да се вникне по-дълбоко в същността на проблема и да бъде изяснено на читателите причините за последващия експериментален подход в изследването. В тази глава е обяснена същността на глоталния тракт и неговата акустична среда, която е представена в математичен вид, служещ за разяснението на последващият емпиричен изследователски подход. По този начин е представен глоталният пулс, устната кухина и ролята на устните при възпроизвеждане на говор от човека (като контраст на синтезиран машинен говор). Влиза се в подробности и се излагат детайли като формата и същността на формантите, както и ролята им в говора.

**Глава 3 “Формиране бази данни с емоционален говор”** – тук са изложени нуждите, поради които се налага подготовката и създаването на бази данни, съдържащи говор с определен тип емоции. Прави се разграничение между непредизвикани емоции и предизвикани актьорски емоции. Според поставените цели и изисквания се създават три речеви корпуса, нужни за провеждането на емпиричните изследвания. Впоследствие се създават модели, посредством които се извличат нужните параметри и се съхраняват в матричен вид. Това е обстойно обяснено в глава 4. Тези данни служат за обучаването и класификацията на системата, обяснени в глава 7.

**Глава 4 “Извличане на параметри”** – тук подробно е обяснен всеки един от използваните методи за извличане на параметри, нужни за провеждането на изследванията. Основната и новаторска параметрична област тук е глоталният сигнал и поради това голяма част от детайлните обяснения са насочени именно там. Обръща се специално внимание на алгоритмите за обратно филтриране с цел извличането на глоталния сигнал и отделянето му от общия говор. Излага се и точната методология на фазовите компенсации на различните честоти, възникнали поради използването на високо-честотни филтри. В детайли е обяснено как са имплементирани методите за извличане на данни от разните параметрични области а именно от: ToBI, прозодични параметри, Mel кепстрални коефициенти (и в частност извличането им от обратно филтрирания глотален сигнал) и цялостната архитектура на процесите.

**Глава 5 “Избор на параметри”** – след извличането на параметрите те трябва да бъдат селектирани с цел намиране на оптималния обем на параметричните вектори. Това се прави с две основни цели: 1) да се максимизира правилното разпознаване на емоции, и 2) да се намали обема изчисления при използването на класификаторите. Поради факта, че събраните данни са от разнороден характер, в началото на този процес се прави нормализация. След това се намалява обема на данните с цел постигане на максимална информационна значимост като се използват

предимно два начина: 1) намирането на обща информация между отделни параметри като от тези със значително препокриване се оставя само един, и 2) отстраняването на останалите параметри, които не допринасят достатъчно в процеса на класификация на данните.

**Глава 6 “Моделиране на емоциите”** – в тази глава са описани всички методи на класификация, конвенционални и нови, които са използвани в процеса на разпознаване. Тук за всяка отделна емоция данните от трите от гореспоменатите корпуса са разделени на “обучаващи” данни, с които се обучава системата, и “тестващи” данни, които системата не знае какви са с цел проверка на ефективността на метода и използваните данни.

**Глава 7 “Резултати от класификацията”** – тук се дискутират получените резултати от използваните речеви корпуси, параметрични области и класификатори.

**Глава 8 “Обобщение”** – прави разбор на труда с всички постигнати резултати и изчислява статистическата значимост на крайните резултати, доказвайки тяхната валидност.

**Глава 9 “Заклучения”** – тук се дискутира основният принос на проучването и се дават насоки за бъдещо развитие на задълбочено проучване в сферата.

## **Патенти:**

***Iliev A.I., Scordilis M.S., “Auxiliary channel masking in an audio signal”, U.S. Patent No. 6,996,521 B2, awarded on February 07, 2006.***

Патентован е нов метод за вкарване на кодирана информация върху основен звуков носител. Този метод за скрита информация е базиран на промени върху фазовата компонента в честотния спектър. Методът модифицира поне една част от честотните компоненти като вкарва вторичен и допълнителен канал от данни върху основния. По това си качество той се определя като динамичен метод. Модифицираният сигнал може да се различава от основния, така че да бъде, или 1) основно непроменен за повечето слушатели, или 2) да остане без никакви чуваеми промени за същите в зависимост от нивото и обема на кодираните данни, които пропорционално влияят върху качеството на новополучения сигнал.

***Iliev A.I., Scordilis M.S., Leventhal H., “Coding a Masked Data Channel in a Radio Signal”, U.S. Patent No. 7,079,633 B2, awarded on July 18, 2006.***

Патентована е система за кодиране на данни върху звуков сигнал, който е излъчен по радио канал и може да бъде многоканален. Новополученият звуков сигнал остава непроменен за слушателите, независимо от вкарания допълнителен шум в честотната област. Данните от допълнителния канал са кодирани върху фазовата компонента на част или на целия честотен диапазон на основния носител. Данните се кодират върху цифровизирана версия на основния сигнал, след което той е аналогово преобразуван за да бъде изпратен по носеща радио честота, преди да бъде приет. В приемната страна сигнала се цифровизира отново за да бъде декодиран.

## **Статии:**

**[1] Iliev, A.I., Stanchev, P., "Personalizing content using voice in a digital asset ecosystem", *IJRSET International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 5, Issue 12, pp. 20260-20267, December 2016.**

Зад всеки процес, съществуващ в изчислителния облак, стои комплексна структура, която варира от вида на имплементация, сферата на приложение и вида на предлаганата услуга. Запазване, търсене и намиране на данни посредством методи на дълбоко обучение (Deep learning) и изкуствен интелект (AI) е логичният и необходим път напред. В сферата на медийния и развлекателния бизнес библиотеките с цифрово медийно съдържание предлагат неограничен избор от материали към обществото, където големият проблем е как да бъдат препоръчани, намерени и бъде получен достъп до точно определено медийно съдържание в морето от необятен избор. Един начин е да се опише медийния материал посредством използването на метаданни, които обикновено идват във вид на комбинация от текст, звук, снимки и видео трейлъри. Този конвенционален добре познат модел, обаче, не решава проблема. Напротив, дори е възможно да го задъбочи, имайки предвид масивния обем данни, необходим за обработка от човек или машина. Това е така не само защото за тази обработка са необходими специални приложения, но и защото те изискват човешко действие със системата посредством използването на конвенционална клавиатура или тъчскрийн. Това прави процеса мудар и труден, поради което е необходимо развитието на по-съвременен и по-добър, персонализиран и автоматизиран метод. Това е и основната тема на този труд в който се предлага нов алтернативен метод за решаване на проблема.

**[2] Iliev, A.I., "Emotion Recognition in Speech using Inter-Sentence Time-Domain Statistics", *IJRSET International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 5, Issue 3, pp. 3245-3254, March 2016.**

Основната цел на тази работа е да покаже как избрана група от параметри, извлечени от времевата област на говора, могат да допринесат за успешно разпознаване на емоциите. Нещо повече, техните вариации са изследвани в група от речеви събития, които формират множество изрази, съдържащи пет основни емоционални състояния. В детайли, това проучване сравнява степента на промяна на параметрите във времето като използва говорител-независими производни между отделните изречения, сравнявайки резултатите между различни параметри в различни моменти от времето. За целта са използвани няколко метода за класификация като Naïve Bayes, Support Vectors и k-NN. В речевата база с параметри има пет ясно изразени емоционални състояния: радост, гняв, тъга, страх и неутрално. Системата показва много висок процент на точност на разпознаване, до 91.67%, когато са използвани параметрични вектори от времевата област. Като контраст, степента на промяна на тези параметри не е толкова обещаваща и може да се заключи, че тя не е толкова емоционално зависима колкото са самите параметри. Процентът на успешно разпознаване тук бе едва 44.17%, което показва, че при използването на пет емоционални състояния вариациите на основните параметри могат да бъдат важен фактор.

**[3] Iliev, A.I., "Feature vectors for emotion recognition in speech", *National Informatics Conference, Sofia, Bulgaria, 2016*, pp. 225-238.**

В това проучване са представени група от параметри, необходими за създаване на система за разпознаване на емоциите в говора на свободна реч. То обхваща набор от параметрични елементи, необходими за съставянето на вектори от данни, които могат да бъдат използвани за

обучението на разнородни класификатори. Съставянето на модели, съдържащи параметри на емоции, е първата и най-важна стъпка за създаването на система за разпознаване на различни емоционални състояния. Емоциите са пряко свързани с езика и бита на различните общности и следва моделите на емоционални състояния да са пряко зависими от този факт. Поради това, целта на проучването е да предостави параметрите, които да представляват градивните елементи на различни модели на емоции в говора. За целта подробно е описан моделът на изговаряне на речта, а след това е обсъдена методиката на извличане на отделните параметри от говора. Предоставени са и блок-диаграми на създадените методики.

**[4] Iliev, A.I., Scordilis, M.S., "Spoken Emotion Recognition Using Glottal Symmetry", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2011, Article ID 624575.**

Вариациите на човешкия говор в реалния живот прави задачата за разпознаване на емоционалните състояния изключително трудна. Въпреки че е предложен голям набор от темпорални (времеви) и спектрални параметри на говора, този труд изследва ефективността от използването на глоталния поток на сигнала на говора при разпознаването на емоциите. Говорът, използван в това проучване, е от запис на класическата пиеса "В очакване на Годо" от Самуел Бекет. В нея са транскрибирани шест различни емоционални състояния а именно: радост, гняв, тъга, страх, изненада и неутрално. Предложеният нов метод бе тестван не само върху оригиналния запис, но и върху негови версии с добавен допълнителен шум от различно естество с цел симулиране на реална среда. В чиста среда новопредложеният метод достигна нива на правилно разпознаване до 76% за 4 емоции и 66.5% за всички 6 емоции. Нещо повече, бе доказано, че методът издържа на различни видове и нива на шум, където правилното разпознаване достигна 60% за 4 и 51.6% за 6 емоции при силно деградирано качество на сигнала посредством използването на нискочестотно-пропускателен филтър. При използването на Гаусов шум с ниво сигнал-шум SNR = 10 dB правилното разпознаване бе 53% и 47% за 4 и 6 емоции съответно. Резултатите показаха, че параметрите, извлечени от глоталния сигнал, осигуряват добра разделителна способност между отделните емоции и постигат подобрени резултати при класификацията сравнена с други предишни методи.

**[5] Iliev, A.I., Scordilis, M.S., Papa J.P., Falcão A.X., "Spoken emotion recognition through optimum path forest classification using glottal features", Journal on Computer Speech and Language, ELSEVIER, Vol. 24, Issue 3, 2010, pp. 445-460.**

Представен е нов метод за разпознаване на емоциите в говора, базиран на параметри извлечени от глоталния поток. Ефективността му е тествана с нов метод за класификация, наречен "Оптимална пътека" или "Optimum path forest" (OPF) и е сравнена с тази на шест предишно използвани метода като: Gaussian mixture model (GMM), Support vector machine (SVM), Artificial neural networks – multi layer perceptron (ANN-MLP), k-Nearest neighbor rule (k-NN), Bayesian classifier (BC) и C4.5 Decision tree. Данните, използвани за тези изследвания, са събирани в безехова камера използвайки десет говорителя – 5 мъже и 5 жени, като всеки изговаряше по 10 предварително подбрани израза в 4 различни емоционални състояния: радост, гняв, тъга, и неутрално. Глоталният сигнал бе извлечен от говора посредством използването на техники за обратно филтриране и отделяне от общия сигнал. Изследваните параметри включваха глотална симетрия, MFCC вектори с различен размер, извлечени от говора и от съответстващия му глотален сигнал. Емпиричните изследвания показаха, че най-добри резултати бяха получени при използване само на глотални параметри посредством SVM и OPF. При GMM, както и в случаите, когато бяха използвани комбинирани параметрични вектори, съдържащи глотални и речеви атрибути, работата на

системата бе посредствена. За тази задача, която бе от тип текст-зависима с множество говорители, най-доброто представяне на системата бе отбелязано при класификатори, използващи 6-та степен глотални MFCC коефициенти.

**[6] Iliev, A.I., Scordilis, M.S., "Emotion Recognition in Speech using Inter-Sentence Glottal Statistics", *Proceedings of the 15th International Conference on systems, Signals and Image Processing, IEEE-IWSSIP 2008, Bratislava, Slovakia, June 25-28, 2008, pp. 465-468.***

Това проучване се занимава с разпознаването на три емоционални състояния посредством говор: радост, гняв и тъга. Основният речеви корпус, използван в този труд, бе изграден посредством използването на безехова камера където бяха записани 6 участника – 3 жени и 3-ма мъже, които възпроизведоха десет предварително подбрани изрази във всяко едно от емоционалните състояния. Като начало, бе извлечен глоталният сигнал, използвайки метод за обратно филтриране от комплексния сигнал на говора, след което бяха извлечени параметрите за калкулиране на глоталната симетрия, като резултатите от това бяха съхранени в матричен вид. Беше създадена комбинирана параметрична матрица, съдържаща всички емоции и всички участници в емпиричната фаза на изследването, която беше подадена за обучение на класификатора Gaussian Mixture Model (GMM). Обучението беше проведено върху 80% от всички комбинирани параметри, за всяка една от емоциите поотделно. Тестването бе направено върху останалите 20% като те бяха подадени към класификатора за всички емоции едновременно. Системата показва категорично, че глоталната информация може да бъде използвана за правилното разпознаване на емоционалното състояние на говорителя. Нивото на успеваемост при разпознаването варираше между 48.96% и 82.29%.

**[7] Iliev, A.I., Zhang, Y., Scordilis, M.S., "Spoken Emotion Classification Using ToBI Features and GMM", *Proceedings of the 14th Intern. Workshop on Signals and Image Processing 2007 and the 6th EURASIP Conference focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services. IEEE-IWSSIP 2007, Maribor, Slovenia, June 27-30, 2007, pp. 495-498.***

Този труд се фокусира върху изследването на това доколко са използваемы параметрите от системата ToBI в задачата за разпознаване на емоциите в човешкия говор. За целта е използван Gaussian Mixture Model (GMM). Бяха представени три основни системи за класификация, базирани на трите вида параметрични вектори: (a) класически подход, използващ конвенционални параметрични вектори, съдържащи тоналност и енергия на сигнала; (b) параметри на ToBI, базирани на тонални нива и нива на паузите между отделните части в прозодията; и (c) система, която използва смесени параметри като сбор от (a) и (b) по-горе. При ToBI елементите от тоналната област бяха автоматично разпознати и използвани. Трите емоционални състояния, използвани тук бяха: радост, гняв и тъга. Цялостната степен на успеваемост на комбинираната система (c) беше от порядъка между 75% and 100%. Тази работа нагледно индикира, че параметрите на ToBI сами по себе си се оказват изключително полезни в сферата на класификация на емоциите. Степента на правилното им разпознаване е повишена при комбинирането на ToBI с конвенционални параметри, в сравнение с тази при която се използват поотделно.

**[8] Iliev, A.I., He, X., Scordilis, M.S., "A High Capacity Watermarking Technique for Stereo Audio", *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, ICASSP2004, Montreal, Canada, 17-24 May 2004, Vol. 5, pp. 393-396.***

В този научен труд е предложен един нов метод за кодиране на воден знак в говора, който е базиран на изследването на разликата на фазите в честотния спектър на стерео сигнал. За целта са

създадени, изложени и използвани нови психоакустични принципи, базирани на бинауралния слух (binaural hearing), или стерео слуха, и се използват за да се калкулират честотно-зависимите нива на фазовите разлики, използвани в този модел. Това по своята същност се използва от мозъка за да бъде определена локацията на звуковия източник, но в този случай служи за вмъкване на скрита информация в звука. Използван е "Spread spectrum" за маркирането на локациите от интерес на това проучване както и за синхронизация на сигнала. Слухови тестове показаха, че използването на този тип психоакустичен феномен за кодиране на сигнал по тази нова методология практически създава нов сигнал който е неразличим от оригинала. Тази техника е изключително ефективна и предлага мащабно кодиране на информация от порядъка на 20 kb/s, правейки метода пригоден за имплементирането му в случаите когато е необходимо обогатяване на основната медия с допълнително съдържание.

**[9] Iliev, A.I., Scordilis, M.S., "Multi level High Capacity Data Hiding Technique for Stereo Audio", *Proceedings of the 2004 IEEE-Asilomar Conference, Pacific Grove, California, November 7-10, 2004*, pp. 1793-1797.**

Бе създаден нов модел за многостепенно кодиране на информация посредством използване на оригинални психоакустични принципи на бинауралния слух (binaural hearing) във фазата на честотния спектър на стерео сигнал. Бяха определени честотно-зависими нива на фазовата разлика, които впоследствие бяха използвани за определянето на местата, подходящи за вмъкване на допълнителната информация в основния сигнал. След това те бяха разделени на няколко под-нива, всяко от което носеше не по един, а по няколко бита информация. Тази пертурбация на фазата бе направена така, че да имитира основния сигнал с цел да намали страничния ефект от вкарания допълнителен шум. Бяха приложени слухови тестове върху новокодираните сигнали за да бъде потвърдена валидността на метода и бе установено, че разлика между новите и оригиналните сигнали на практика нямаше. Тази технология предлага изключително висок канал за кодиране на допълнителна информация до 105 kb/s при основен сигнал с качество на компакт диск (CD).

**[10] Jin, W., Scordilis, M.S., Iliev, A.I., "Comparison and implementation of a 16-bit fixed point audio resampler", *Proceedings of the 2004 IEEE-Asilomar Conference, Pacific Grove, California, November 7-10, 2004*, pp. 1798-1800.**

В този труд е конструиран звуков ресамплер, намалявайки семплиращата честота от 44.1 kHz на 16 kHz. Отделно са създадени интерполатор и дециматор за да бъде променена семплиращата честота с цяло число. За целта са конструирани и използвани нискочестотно-пропускателни филтри, използвани от интерполатора и дециматора, като те са конструирани по следните два начина: 1) посредством използване на прозоречен метод (window method) и 2) чрез имплементация на equiripple дизайн. Работата на двата филтъра е проверена посредством 3-dB честотна лента и лентово-пропускливи сигнал-шум нива (pass-band signal to noise ratios). Филтрите са имплементирани, използвайки много-степенен интерполиран FIR метод. Методът е оптимизиран чрез използването на т.нар. polyphase структури. Самплерът е имплементиран с 16-bit fixed-point симулация. Описаният подход драстично намалява степента на филтъра, което директно рефлектира върху намаляване на обема на изчисленията.

**[11] Iliev, A.I., Scordilis, M.S., "Binaural Phase Masking Experiments in Stereo Audio", *Proceedings of the First Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, Mexico, The Journal of the Acoustical Society of America*, Nov.01.2002, Vol.112, Issue 5, pp. 2273-2274.**

Основният принос на този труд бе, че е установен нов метод за маскиране на данни, който е базиран на стерео слуха (binaural hearing). Бе установено, че най-малката осезаема промяна на ъгъла при движението на два източника, известна като Минимален звуков ъгъл (Minimal Audible Angle - MAA), за двойка източници намиращи се на хоризонталната равнина, зависи от честотата на излъчвания чист синусоидален сигнал и на азимута на ъглово разделяне между източниците. Един интересен начин, по който може да се разгледат разликите в ъгловите измествания на тези звукови източници в границите на MAA лимита, е като шум във фазата на сигнала в честотната област, както и като невъзможността на слушателите да усетят тази минимална разлика вследствие на процеса на маскиране на звука. Тази работа се занимава с емпиричните резултати от изследванията на чуваемостта на MAA лимита и кореспондиращата и интераурална фазова разлика (Interaural Phase Difference - IPD) когато комплексни звукови сигнали се намират в най-чувствителната част от пространството около нас а именно директно пред слушателите (азимут и височина при 0°). Стимулиращите звукови сигнали бяха разглеждани като линейна комбинация от чисти тонове, като са описани според анализа на Фурие. Резултатите показаха, че психоакустично маскиране е постигнато когато IPD е променена в границите на лимитите определени от MAA за чисти синусоидални тонове. Бяха направени слухови тестове със стерео звук и методите бяха потвърдени емпирично. [Работата бе подкрепена от Watermark Technologies]

Дата: 27.02.2017

Подпис: .....