

ინფორმაციის მოპოვების პრინციპები ფონოგრამების ავტომატური ანალიზისთვის

ანსის ბერზინი

რიგის ტექნიკური უნივერსიტეტი (ლატვია)

ansis.berzins@rtu.lv

შესავალი

2007 წელს ჩვენ წინაშე დადგა ენათა ავტომატიზებული შედარების ამოცანა¹. ამ მიმართულებით მუშაობა დაიწყო იმის გარკვევით, რამდენად გამოსადეგი იყო ლატვიაში მანამდე არსებული დიალექტური ფონოგრამები ჩვენი ექსპერიმენტებისათვის.

სამწუხაროდ, დასკვნა არასახარბიელო აღმოჩნდა: არსებული აუდიომასალა უსარგებლო იყო ავტომატიზებული ანალიზისთვის და ფონოგრამების შეკრება ხელახლა გახდა საჭირო. 50-60-იანი წლების მაგნიტურ ჩანაწერებზე დიდ იმედს არც ვამყარებდით მათი სიძველისა და ჩაწერის არაეფექტური ტექნიკური საშუალებების გამო, მაგრამ ძალიან გაგვაოცა ჩვენი მიზნებისთვის ბოლო ორი ათეული წლის მანძილზე მოპოვებული ჩანაწერების სრულმა გამოუსადეგარობამ.

როგორც ჩანს, თანამედროვე ფოლკლორული, დიალექტოლოგიური თუ ზეპირი ისტორიების მასალის მოპოვებელი ექსპედიციების მონაწილეები ყურადღებას არ აქცევენ ფონოგრამის ჩაწერის ხარისხს – მათთვის არსებითია მხოლოდ მოსმენისა და მანუალური გაშიფვრის შესაძლებლობა.

ჩაწერა ხდება სხვადასხვა ჩამწერი საშუალებით, სხვადასხვა ტიპის მიკროფონით, როგორც წესი – ხმოვანი ფაილების შეკუმშული ფორმატებით, გარეხმაურის თანხლებით, მიკროფონსა და ინფორმანტს შორის მანძილის გაუთვალისწინებლად და ა. შ. ყველაფერი ეს კი იწვევს იმას, რომ ამ სახით ჩაწერილი მასალა გამოუსადეგარია ფონოგრამების ავტომატიზებული ანალიზისთვის ჩაწერის არათანაბარი პირობების, გარეშე ხმაურის და შეკუმშვისას ინფორმაციული დანაკარგის გამო.

მოხსენებაში აღვწერთ ხარისხიანი დიალექტოლოგიური ფონომასალის მოპოვების ჩვენ მიერ დამუშავებულ მეთოდოლოგიას.

ძირითადი პრინციპები

პირველი და ძირითადი პრინციპია მასალის ერთგვაროვნება. ჩაწერის ტექნოლოგია არ უნდა დაირღვეს, რაც უზრუნველყოფს იმას, რომ ფონოგრამები ერთმანეთისგან მხოლოდ შინაარსობლივად იქნება განსხვავებული და არა ტექნიკური თვალსაზრისით.

სარწმუნო შედეგების მისაღებად მნიშვნელოვანია, რომ მეტყველება იყოს სპონტანური. ამისთვის საჭიროა ინფორმანტის პროვოცირება, რომ თავად წარმართოს თხრობა. ასევე მნიშვნელოვანია თემის არჩევანი: უკეთესია ერთსა და იმავე თემაზე არსებული ჩანაწერების შედარება. ამიტომ ინფორმანტებს ვესაუბრებით ზოგად და ყველასათვის ახლობელ თემებზე: მშობლებზე, ბებია-ბაბუებზე, მშობლიურ ადგილებზე, სკოლაზე, არმიაზე, ქორწინებაზე, ბავშვებზე, სამსახურზე, მეურნეობაზე, სახლზე, დღესასწაულებზე, მეზობლებზე, შემოგარენზე და ა. შ. ცხოვრების გზის დოკუმენტირების პარადელურად ვაგროვებთ

¹ ენებად ამ შემთხვევაში მიხნეულია ზეპირი ენობრივი სისტემები, მათ შორის, დიალექტები.

ფოლკლორულ მასალასაც: სიმღერებს, ცეკვებს, წეს-ჩვეულებებს, ზღაპრებს, ანეკდოტებს. ძალიან მნიშვნელოვანია ინფორმატორთან საუბრის საკუთარ დიალექტზე წარმართვა (ამ დიალექტის არასრულფასოვანი ფლობის შემთხვევაშიც კი), რადგან გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ სალიტერატურო ენაზე საუბრის დროს ინფორმატორების დიდი ნაწილი ამა თუ იმ ხარისხით გადაერთევა სალიტერატურო კოდზე.

ჩანაწერი მოწყობილობის არჩევა

პირველ რიგში, უნდა გადაწყდეს ანალოგური მოწყობილობით ვისარგებლოთ თუ ციფრულით. ანალოგური ჩანაწერი თავისი უწყვეტი ხასიათის გამო უფრო ზუსტად გადმოსცემს ცოცხალ ბგერას, მაშინ, როცა ციფრული ჩანაწერი წარმოადგენს გარკვეული სიხშირის მონაკვეთებს – რაც მაღალია სიხშირე, მით უფრო ზუსტია ბგერა. მიუხედავად ამ საბაზისო ნაკლისა, ციფრულ ჩანაწერს მრავალი უპირატესობა აქვს: მოწყობილობების შედარებითი სიახვე, ასლის გადაღებისას ხარისხის შენარჩუნების თვისება და სხვ. [1, 2, 3], მაგრამ ყველაზე მთავარი: მასალის ანალიზს ჩვენ ვაპირებთ პერსონალური ელექტროგამომთვლელი მანქანის (პეგმ) მეშვეობით და, შესაბამისად, მუშაობა მოგვიწევს მაინც დისკრეტულ და არა უწყვეტ მონაცემებთან, ამიტომ უწყვეტი ჩანაწერის აუცილებლობა არ გვაქვს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ციფრული აუდიოჩანაწერი დროით ღერძზე დისკრეტიზაციის სიხშირით ხასიათდება. ხოლო დროის ფიქსირებული მნიშვნელობის დროს ბგერის მახსიათებელია ანათვალის თანრიგობა, რომელიც აღწერს ბგერის ამპლიტუდის წარმოდგენის სიზუსტეს. მაგალითად, 16 ბიტის თანრიგობის შემთხვევაში ჩვენ გვქვია ამპლიტუდის $2^{16} = 65536$ ფიქსირებული დონე. ცხადია, რაც მეტია ასეთი დონეების რიცხვი, მით ნაკლებია ბგერის დამახინჯება და თანმდევი ხმაური. ფართო მოხმარების სტანდარტად (მაგალითად, სტანდარტები, რომლებიც გამოიყენება კომპაქტურ ფირფიტებში) ჩვენს დროში ითვლება 44,1 კჰერცი / 16 ბიტი, ხოლო მუსიკის ჩაწერისას უფრო ხშირად სარგებლობენ 96 კჰერცი / 24 ბიტით [4].

ერთ-ერთი მთავარი მახსიათებელია ჩანაწერის ფორმატი. ციფრული აუდიოჩანაწერი შეიძლება იყოს შეკუმშული ან შეუკუმშავი. შეკუმშვა შეიძლება სხვადასხვა ფორმატისა იყოს, იმის მიხედვით, როგორია შეკუმშვის საშუალება – დანაკარგიანი შეკუმშვა (მონაცემები, რომლებიც მიჩნეულია უმნიშვნელოდ, იკარგება) თუ უდანაკარგო შეკუმშვა (მონაცემები გაფართოების შემდეგ აღდგება ერთი ბიტის სიზუსტით) [5, 6, 7]. მართალია, აუდიომონაცემების სამეცნიერო მიზნებით გამოყენებისას შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს ისეთი მონაცემებიც, რომლებიც აუდიოფორმატების შემქნელებს უმნიშვნელოდ მიაჩნიათ. ამიტომ ჩვენი მიზნებისთვის უფრო მიზანშეწონილია ფორმატები შეკუმშვის გარეშე ან შეკუმშვა დანაკარგის გარეშე. მართალია, უდანაკარგო შეკუმშვის დროს ფაილები დაიკავენ დაახლოებით ორჯერ ნაკლებ ადგილს, მაგრამ მნიშვნელოვნად გაიზრდება მათი დამუშავების დრო (ყოველთვის მათი მოსმენისას ეგმ-ს მოუწევს მასალის გაფართოება და შეკუმშვა), ამიტომაც უფრო რაციონალურია შეუკუმშავი ფაილებით სარგებლობა. ამას უპირატესობა აქვს მატარებლის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაშიც, რადგანაც შეუკუმშავი ფაილები უფრო ადვილად და უკეთ ექვემდებარება აღდგენას, მათ შორის ნაწილ-ნაწილ აღდგენასაც.

მეტყველების ამოცნობის სფეროში წარმატებით გამოიყენება ფონოგრამულ მონაცემთა „სატელეფონო ხარისხის“ ბაზებიც კი. მაგ., SpeechDat (8 კჰერცი, A-law¹), TIMIT (16

¹ შეკუმშული ფორმატი, რომელიც 16 ბიტის ბგერას გარდაქმნის 8 ბიტად.

битов/16 კპერცი) [9], PER (8 კპერცი, A-law და 16 ბიტი/16 კპერცი) [10], ამიტომ და, აგრეთვე, ფართო გავრცელებისა და შეთავსებადობის გამო ჩვენ საკმარისად და მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მონაცემების 44,1 კპერცის ხარისხით ჩაწერა.

სამწუხაროდ, მეცნიერები მონაცემების მოპოვებისას ჩაწერის ფორმატს უმეტესად ყურადღებას არ აქცევენ, სარგებლობენ არაპროფესიული ან ნახევრადპროფესიული აპარატურით, რომლებიც დანაკარგებით შეკუმშვის ფორმატებს იყენებენ.

საექსპედიციო მუშაობისას, რასაკვირველია, დიდი მნიშვნელობა აქვს აპარატურის ზომას. თანამედროვე ჩამწერი აპარატურის დიდი ნაწილი საკმაოდ მცირე ზომისაა, ამიტომ არჩევანის გაკეთება არ არის რთული.

მიკროფონის არჩევა

ხარისხიანი ჩაწერისათვის უნდა გამოვიყენოთ აუცილებლად გარე და არა აპარატურაში ჩამონტაჟებული შიდა მიკროფონი.

ჯერ უნდა ავირჩიოთ მიკროფონის ტიპი მოქმედების პრინციპის მიხედვით [11]. როგორც ჩანს, არჩევანის გაკეთება მოგვიწევს კონდენსატორულ ელექტრეტულს [17] და ელექტროდინამიკურ კოჭა მიკროფონს შორის მათი ტექნიკური თვისებებისა და მისაღები ფასის გათვალისწინებით¹ [12, 13, 14]. ზოგადად, კონდენსატორული მიკროფონები უკეთესია მგრძობიარეობისა და სიხშირული მანძილებების მიხედვით, მაგრამ ისინი ზედმეტად მგრძობიარეა გარეშე პირობების მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მიკროფონი სავსე პირობებში უნდა გამოვიყენოთ, ალბათ უმჯობესი იქნება, თუ დინამიკური მიკროფონით ვისარგებლებთ². რასაკვირველია, მას უნდა ჰქონდეს სიხშირის ფართო დიაპაზონი, სასურველია, 15 000 ჰერცი (ანუ უმაღლესი კლასის დინამიკური მიკროფონები), რადგანაც, მაგალითად, ადამიანის, განსაკუთრებით კი, მამაკაცის ხმის სიხშირე შეიძლება იყოს ფართომოხმარების 100 ჰერცზე დაბალი³.

ყურადღება უნდა მიექცეს მიკროფონის სიხშირული მგრძობიარეობის მრუდს: რაც უფრო პირდაპირი და სწორხაზოვანია ის (ანუ სიხშირული დიაპაზონები ჩაიწერება ნატურალური ხმოვანი მიმართებით), მით უკეთესია.

კონსტრუქციულად მიკროფონი უნდა იყოს თავზე დასამაგრებელი და რაც შეიძლება ახლოს უნდა განთავსდეს ინფორმანტის პირთან.

რალა თქმა უნდა, მიკროფონი უნდა იყოს ცალმხრივი მიმართულებისა (ე.წ. კარდიოიდული), რადგანაც ბგერის წყარო – ინფორმანტის პირი – ერთ წერტილში მდებარეობს. მიმართულების კარდიოიდული დიაგრამის დროს ინფორმანტის მეტყველება დაფიქსირდება კარგად, ხოლო გარეშე ხმები – ცუდად.

ჩაწერის ადგილის არჩევა და მომზადება

ხარისხიანი ჩანაწერის მისაღებად აუცილებელია არა მხოლოდ საუკეთესო ტექნიკა, არამედ შესაფერისი პირობები, რაც გულისხმობს გარე ხმაურის შემცირებას.

¹ ჩვეულებრივი კონდენსატორული მიკროფონი საჭიროებს გარე კვებას და მგრძობიარეა დარტყმებისა და კლიმატური პირობებისადმი [16], ნათურიანი (კონდენსატორული ნათურიანი გამაძლიერებელი ნახევარგამტარიანის ნაცვლად) – კარგია, მაგრამ დიდა და ძვირადღირებული; დინამიკური ლენტური – ძვირია და ძალიან მგრძობიარე [15]; კუთხოვანი – მოძველებულია და თან ცუდი სიხშირული მახასიათებელი აქვს [18].

² დინამიკური მიკროფონის უპირატესობაა ისიც, რომ ის კარგად უძლებს გადატვირთვას.

³ ადამიანის სმენისა და ხმის სიხშირეთა სრული დიაპაზონია 20-20 000 ჰერცი, მაგრამ ინტერვალის საზღვრებთან მიახლოებული მნიშვნელობები უმნიშვნელო რაოდენობით გვხვდება და უმეტესად არ ისმის.

ჩაწერა უნდა მიმდინარეობდეს დახურულ სივრცეში. თუ სახლი გზის პირასაა, ვირჩევთ საპირისპირო მხარეს მდებარე ოთახს. უნდა ჩამოვხსნათ კედლის საათი, მთელ შენობაში უნდა გამოვრთოთ ტელეფონები¹, ტელევიზორი და რადიო და მოვიტხოვოთ მობინადრეთაგან სინჯმე.

ПРИНЦИПЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ФОНОГРАММ

А.У. Берзинь

Рижский технический университет (Латвия)

ansis.berzins@rtu.lv

Введение

В 2007 году мы поставили перед собой задачу автоматизированного сравнения языков². Работу в данном направлении мы начали с анализа имеющихся в Латвии диалектологических экспедиционных фонограмм на предмет их пригодности для наших экспериментов. К сожалению, выводы оказались отрицательными: ничто из собранного непригодно и для автоматизированного анализа фонограммы надо собирать сызнова. Если по записям на магнитофонных лентах 50-60 гг. мы особых надежд не чаяли, ввиду их возраста и возможностей техники той поры, то непригодность записей последних двух десятилетий нас удивила.

Оказывается, участники современных экспедиций, будь то фольклорные, диалектологические или по сбору жизнеописаний, не уделяют внимания качеству записи фонограммы – им важна только возможность последующего мануального прослушивания и расшифровки. Запись ведётся разными записывающими устройствами, разными микрофонами, в основном – в сжатых форматах звукового файла, при наличии внешних шумов, не уделяется внимание и фиксированию расстояния от рта информанта до микрофона. Всё это приводит к тому, что звукозаписи, записанные подобным образом, не пригодны для автоматизированного анализа фонограмм, ввиду разных условий записи, слишком большого количества внешних шумов и потерь информации при сжатии.

В данном докладе мы опишем разработанную нами методику собирания качественных диалектологических фономатериалов.

Основные принципы

Первым и основополагающим принципом является однородность материала, т.е., технология записи должна сохраняться, таким образом обеспечивая то, что фонограммы будут различаться только содержательно, а не по техническим причинам.

¹ უნდა გამოვრთოთ მთლიანად, მხოლოდ ხმის გამორთვა საკმარისი არ არის.

² Языками мы в данном случае считаем устные языки в самом широком понимании этого слова, в том числе и наречия.

Для достижения наиболее достоверных результатов важно, чтобы речь была спонтанной, т.е. требуется только провоцировать информанта вопросами, дабы он сам вёл рассказ. Важен также выбор темы: лучше сравнивать рассказы на одну и ту же тему, поэтому мы разговариваем с людьми на темы, пережитые всеми: родители, деды и бабки, родное место, школа, армия, свадьба, женитьба/замужество, дети, работа, хозяйство, дом, праздники, вечеринки, соседи, окрестности и т.п., т.е. документируем жизненный путь, а заодно и собираем фольклорный материал: песни, танцы, описания обрядов, сказки, анекдоты. Исключительно важно с информантом разговаривать на его наречии (пусть даже на плохом), так как опыт показывает, что при разговоре с информантами на литературном языке, даже при просьбе говорить на наречии большинство информантов всё равно в большей или меньшей степени подстраивают свой язык под литературный.

Выбор записывающего устройства

Во-первых, надо решить, пользоваться аналоговыми устройствами или цифровыми. Аналоговая запись более подобно отражает живой звук, так как он сам, по сути, является непрерывным. Цифровая же запись – это разрезы, взятые с определённой частотой – чем частота больше, тем правдоподобнее звук. Несмотря на этот – базовый – недостаток, у цифровой записи много преимуществ: устройства дешевле, при копировании качество не ухудшается и др. [1, 2, 3] Но – самое главное: мы наши данные собираемся анализировать и сравнивать при помощи ПЭВМ, т.е., мы всё равно будем работать с дискретными, а не непрерывными данными, поэтому у нас нет потребности в непрерывности звукозаписи.

Как мы уже указали, цифровая аудиозапись на оси времени характеризуется частотой дискретизации. А при фиксированном значении времени звук характеризуется разрядностью отсчёта, описывающей точность представления амплитуды звука. Например, при разрядности в 16 битов мы будем иметь $2^{16} = 65536$ фиксированных уровней амплитуды. Очевидно, что чем таких уровней больше, тем меньше искажений и шума. Стандартом широкого потребления (используется, например, в компактпластинках) в наше время является 44,1 кГц / 16 битов, а при записи музыки чаще пользуются 96 кГц / 24 битами. [4]

Одна из главных характеристик – формат записи. Цифровая аудиозапись может быть несжатой или сжатой. Сжатие может быть в разных форматах, которые подразделяются на способы сжатия с потерями (данные, которые разработчиками признаны несущественными, теряются) и без потерь (данные при разжатии восстанавливаются с точностью до бита). [5, 6, 7] Так как при использовании аудиоданных в научных целях существенными могут оказаться и такие данные, которые разработчикам аудиоформатов кажутся несущественными, то для наших целей подходящими являются только форматы несжатые и сжатые без потерь. Хотя и при сжатии без потерь файлы будут занимать приблизительно в два раза меньше места, но существенно возрастёт время их обработки (каждый раз при их прослушивании, ЭВМ будет их разжимать и сжимать), посему более рационально пользоваться несжатыми данными. Это также даст преимущество при порче или поломке носителя, так как несжатые данные легче и лучше восстанавливаются, в том числе и по частям.

В области распознавания речи успешно применяются базы данных фонограмм даже

так называемого „телефонного“ качества, например, SpeechDat (8 кГц, A-law¹), TIMIT (16 битов/16 кГц) [9], PER (8 кГц, A-law и 16 битов/16 кГц) [10], поэтому, а также учитывая более широкую распространённость и совместимость, мы посчитали достаточным и целесообразным данные записывать в качестве 44,1 кГц / 16 битов.

К сожалению, учёные, собирающие данные, на формат записи зачастую вообще не обращают внимания, а устройствами пользуются непрофессиональными или полупрофессиональными, в которых по умолчанию используются сжатые с потерями форматы.

Для экспедиционной работы, безусловно, важен размер устройства. Большая часть современных записывающих устройств по размерам невелика, поэтому выбор не составит проблемы.

Выбор микрофона

Для качественной записи надо пользоваться внешним, а не встроенным в записывающее устройство, микрофоном.

Во-первых, надо выбрать тип микрофона по принципу действия [11]. Очевидно, нам придётся выбирать между конденсаторным электретным [17] и электродинамическим катушечным, ввиду их технических свойств и доступной цены.² [12, 13, 14] В среднем, конденсаторные лучше по чувствительности и частотным показателям, но они также более чувствительны к внешним условиям. Учитывая то, что микрофон будет использоваться в экспедиционных условиях, наверное лучше воспользоваться динамическим микрофоном³. Конечно, он должен иметь широкий диапазон воспроизводимых частот, желательно 30-15 000 гц (т.н., динамический микрофон высшего класса), так как, например, частоты человеческого, в особенности мужского, голоса бывают и ниже ширпотребных 100 гц⁴.

Следует обратить внимание и на кривую частотной чувствительности микрофона: чем она прямее и более пологая (т.е. частотные диапазоны записываются в натуральном громкостном соотношении), тем лучше.

По конструкции необходимо пользоваться микрофоном, крепящимся на голове и находящимся у рта информанта: это позволяет избежать колебаний громкости речи при передвижении головы.

Разумеется, микрофон должен быть одностороннего направления (т.н. кардиоидный), так как источник звука – рот информанта – находится в одной точке. При кардиоидной диаграмме направленности речь информанта будет улавливаться хорошо, а окрестные шумы – плохо.

¹ Сжатый формат, кодирующий 16 битовый звук 8 битами. [8]

² Обыкновенный конденсаторный нуждается во внешнем питании и чувствителен к ударам и климатическим воздействиям [16], ламповый (конденсаторный с ламповым предусилителем вместо полупроводникового) – более громоздкий и дорогой, хоть и хороший, динамический ленточный – дорогой и чувствителен к дуновениям [15], угольный – устаревший и с плохой частотной характеристикой [18].

³ Преимуществом динамического микрофона является также его устойчивость к перегрузкам.

⁴ Полный диапазон частот человеческого слуха и голоса 20-20000 гц. Но значения, близкие к границам интервала, встречаются в несущественном количестве и большинством не различаются на слух.

Выбор и подготовка места записи

Для получения качественной записи необходимо не только пользоваться качественной техникой, но и проводить её в соответствующих условиях, в которых внешние шумы минимизированы.

Запись надо проводить в закрытом помещении, при закрытых окнах и дверях. Если дом стоит возле дороги, то лучше выбрать комнату с противоположной стороны. Надо снять или заглушить настенные часы, выключить холодильник и другие произвольно включающиеся электроприборы, выключить все телефоны¹, выключить телевизоры и радио, даже если они находятся в других помещениях, попросить домочадцев не шуметь и не входить.

Библиография / References

- От аналоговой записи – к цифре,
http://its-journalist.ru/Articles/ot_analogovoj_zapisi_k_cifre.html
- Звукозапись, цифровая или аналоговая?
<http://www.midi.ru/forumd.php?id=181648>
- Дубровский Д.Ю.** Чем цифровая запись лучше аналоговой?
<http://demorecord.ru/analogsound.html>
- Музыченко Е.В.** Принципы цифрового звука. 1998-1999,
<http://www.websound.ru/articles/theory/digsnd.htm>
- Audio file format,
http://en.wikipedia.org/wiki/Audio_file_format
- Сжатие без потерь,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие_без_потерь
- Сжатие данных с потерями,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие_данных_с_потерями
- A-Law Compressed Sound Format,
<http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000038.shtml>
- Salvi, G.** Mining Speech Sounds. KTH: Stockholm, 2006. pp. 18-19.
- Melin, H.** Automatic speaker verification on site and by telephone: methods, applications and assessment. KTH: Stockholm, 2006. pp. 103-104.
- Микрофон,
<http://ru.wikipedia.org/wiki/Микрофон>
- Характеристики микрофонов,
<http://ingibit.rigalink.lv/info/c2/mikro01.html>
- Сравнение конденсаторных и динамических микрофонов.
http://www.microphone.ru/articles/paragraph_1.html
- Динамические, конденсаторные микрофоны и фантомное питание,
<http://midi.ucoz.ru/publ/1-1-0-16>

¹ Именно выключить – отключения звука недостаточно.

Костоломов В. Ленточные микрофоны. 2000,
http://www.oktava-mics.net/shop/a-2/lentochnye_mikrophony.html
Конденсаторный микрофон,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Конденсаторный_микрофон
Электретный микрофон,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Электретный_микрофон
Угольный микрофон,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Угольный_микрофон