

ISSN 1816-0301 (Print)
ISSN 2617-6963 (Online)
УДК 004.822:514

Паступіла ў рэдакцыю 22.03.2019
Received 22.03.2019

Прынята да публікацыі 01.07.2019
Accepted 01.07.2019

Праектаванне натуральна-моўных інтэрфейсаў для даведкавых сістэм

Ю. С. Гецэвіч, У. А. Жытко, С. А. Гецэвіч, Л. І. Кайгородава[✉], К. А. Нікалаенка

*Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі
Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь
✉E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com*

Анотацыя. Разглядаюцца існуючыя натуральна-моўныя і маўленчыя інтэрфейсы для пытальна-адказных сістэм даведкавага прызначэння, а таксама падыходы да іх праектавання. Праводзіцца кароткі аналіз найбольш вядомых у розных сферах дзейнасці інтэлектуальных сістэм з натуральна-моўным інтэрфейсам: пры выкарыстанні ў медыцыне, тэхналогіях разумнага дому, адукацыі, прамысловасці, хуткай адаптацыі да новых тэхналогій у паўсядзённым жыцці. Даецца спіс асноўных існуючых сэрвісаў, якія могуць выкарыстоўвацца як персанальныя асістэнты, а таксама як аснова для пабудавання ўжо сваіх маўленчых інтэрфейсаў.

Натуральна-моўныя інтэрфейсы даследуюцца з пункту гледжання выкарыстання натуральнай мовы для арганізацыі дыялогу карыстальніка з камп'ютарнай сістэмай. Пры гэтым абмяркоўваюцца асноўныя складанасці, звязаныя з неадназначнасцю натуральнай мовы і неадпаведнасцю магчымасцей рэалізацыі натуральна-моўнага інтэрфейсу спадзяваннем карыстальніка.

Прыводзяцца галоўныя прынцыпы мадэлявання натуральна-моўнага інтэрфейсу, які, будучы інтэлектуальнай сістэмай, у якасці асноўных сваіх кампанентаў складаецца з базы ведаў, машыны апрацоўкі ведаў і карыстальніцкага інтэрфейсу.

Ключавыя словы: натуральна-моўны інтэрфейс, галасавы сэрвіс, распазнаванне маўлення, сінтэз маўлення, пытальна-адказныя сістэмы

Для цытавання. Праектаванне натуральна-моўных інтэрфейсаў для даведкавых сістэм / Ю. С. Гецэвіч [і інш.] // Информатика. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 37–47.

Design of natural-language interfaces for reference systems

Yuras S. Hetsevich, Vladimir A. Zhitko, Sviatlana A. Hetsevich, Lesia I. Kaigorodova[✉], Kiryl A. Nikalaenka

*The United Institute of Informatics Problems of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
✉E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com*

Abstract. The description of the technology of modern natural language interfaces for intelligent systems and language interfaces for question-answering intelligent systems is presented, as well as methods and principles for their design. Analysis of the intelligent systems with natural language interfaces used in different areas are given. These areas are medicine, smart home technology, education, industry, fast adaptation to new technologies. The list of the most popular services with the natural language interfaces is presented. Each service can be used as a ready-to-use personal assistant or as a core for the development of a new customized natural language interface.

The research of the natural language interfaces was conducted from the point of view of the natural language usage for the interaction between a user and the machine. The main problems here are the bias in natural language and the difficulties in the design of natural language interfaces that meet user expectations.

The main principles of modeling of natural language interfaces are considered. As an intelligent system the interface consists of the database, knowledge machine and user interface. Speech recognition and speech synthesis components make natural language interfaces more convenient from the point of view of usability.

Keywords: natural language interface, voice services, speech recognition, speech synthesis, question-answering systems

For citation. Hetsevich Yu. S., Zhitko V. A., Hetsevich S. A., Kaigorodova L. I., Nikalaenka K. A. Design of natural-language interfaces for reference systems. *Informatics*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 37–47 (in Belarusian).

Уводзіны. У сувязі з дынамічным развіццём і распаўсюджваннем камп'ютарных сістэм у розных сферах дзейнасці чалавека актуальным з'яўляецца зніжэнне выдаткаў на падрыхтоўку новых карыстальнікаў, а таксама магчымасць арганізацыі зручных чалавекамашынных дыялогаў. Перспектыўным у гэтым выпадку ўяўляецца выкарыстанне звыклай для карыстальніка натуральнай мовы арганізацыі дыялогу з камп'ютарнай сістэмай. Такая магчымасць рэалізуецца сродкамі натуральна-моўнага карыстальніцкага інтэрфейсу, які валодае шэрагам пераваг: мінімальнай падрыхтоўкай карыстальніка для працы з сістэмай, прастатой і вялікай хуткасцю задання адвольных запытаў да карыстальніцкага інтэрфейсу і высокім узроўнем мадэлі прадметнай вобласці. Выкарыстанне маўленчага сінтэзу пры гэтым дазваляе зменшыць нагрузку на карыстальніка па ўспрыманні вынікаў апрацоўкі не праз графічны інтэрфейс (зрокавую сістэму), а пасродкам маўлення. Акрамя таго, моўны ўвод каманд і пытанняў дазваляе карыстальніку ўжываць гэту ж сістэму ў якасці даведкавай і атрымліваць ад яе дапамогу ў выкананні рознай дзейнасці.

Варта адзначыць, што для натуральна-моўнага карыстальніцкага інтэрфейсу пытална-адказных сістэм магчыма прымяненне абмежаванага набору лексікі і граматыкі мовы без сур'ёзнай шкоды функцыянальнасці пытална-адказнай сістэмы. Абмежаваная натуральная мова – гэта падмноства натуральнай мовы, тэкст, на якім без якіх-небудзь намаганняў успрымаецца носьбітам зыходнай натуральнай мовы, а таксама не патрабуе працяглага вывучэння для набыцця навыкаў складання тэкстаў на гэтай мове, бо валодае скарочаным наборам лексікі і граматыкі. Гэта дазваляе зменшыць час апрацоўкі натуральна-моўных канструкцый у пытална-адказнай сістэме і часткова пазбегнуць лінгвістычных неадназначнасцяў.

Кароткі аналіз найбольш вядомых у розных сферах дзейнасці інтэлектуальных сістэм з натуральна-моўным інтэрфейсам

Выкарыстанне ў медыцыне. Выкарыстанне рознага роду маўленчых тэхналогій становіцца асабліва актуальным, калі гаворка ідзе пра людзей з абмежаванымі магчымасцямі. Да прыкладу, дзякуючы стварэнню мабільных асістэнтаў, здольных разумець або генераваць маўленне, людзі з дрэнным зрокам могуць лепш арыентавацца ў прасторы якога-небудзь памяшкання [1].

Актыўныя даследаванні вядуцца ў вобласці стварэння інваліднага крэсла, абсталяванага бартавым камп'ютарам. Такое прыстасаванне дазволіць людзям з частковым паралічам абыйсціся без дапамогі асістэнтаў пры перамяшчэнні ў прасторы. Адзін з такіх праектаў распрацоўваецца ў школе камп'ютарных навук Універсітэта Макгіл у Канадзе [2]. Інтэрфейс створанага крэсла ўключае ўвод каманд на натуральнай мове і сінтэзаваны маўленчы адказ.

Для забеспячэння дадзенага спосабу ўзаемадзеяння бартавая сістэма ўключае цэлую кагнітыўную архітэктру. Дадзеная архітэктра складаецца з модуляў распазнавання і сінтэзу маўлення, падсістэмы разбору маўлення, блоку прыняцця рашэння (менеджара ўзаемадзеяння), модуля, які транслюе прынятыя рашэнні ў нізкаўзроўневыя функцыі (менеджара паводзін), а таксама модуля, што адказвае за працу навігацыйных кампанентаў рабатызаванай апаратуры (сістэмы кантролю робатам). Для стварэння модуля распазнавання разглядаліся два наборы праграмных прылад, якія дазваляюць забяспечыць распазнаванне маўлення на аснове тэорыі схаваных маркаўскіх мадэляў: HTK (URL: <http://htk.eng.cam.ac.uk>) і CMU's Sphinx-4 (URL: <http://cmusphinx.sourceforge.net/sphinx4>). Перавага была аддадзена другому па прычыне лепшай інтэграванасці ў агульную сістэму. Навучанне статыстычных мадэляў ажыццяўлялася на адкрытай базе дадзеных англійскай мовы Wall Street Journal Acoustic Model. Сярэдні працэнт памылак, дапушчаных пры распазнаванні на ўзроўні слоў, склаў 16,6 %.

Галоўнай задачай модуля разбору маўлення было абмежаванне мноства ўводных каманд. У якасці інструмента выкарыстоўваўся праграмны пакет CCG (англ. Combinatory Categorical Grammars) [3]. Асноўнай адметнай рысай гэтай падсістэмы з'яўляецца магчымасць ажыццяўляць не толькі сінтаксічны, але і семантычны разбор.

Для забеспячэння сінтэзу маўлення прымяняецца сістэма Festival (URL: <http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival>). Набор сінтэзаваных фраз уводзіцца ўручную і знаходзіцца ў памяці менеджара паводзін.

У якасці метадалагічнай асновы менеджара ўзаемадзеяння выступае парадыгма маркаўскага працэсу прыняцця рашэння для часткова назіральнага асяроддзя. Паводле такой тэорыі вызначаны стан мадэлі не можа назірацца яўна, а вызначаецца па зашумленых дадзеных, за якімі вядзецца назіранне [4]. У дадзеным выпадку тое, што мае на ўвазе карыстальнік, вызначаецца з дапамогай вербальных каманд (гэтак жа, як кантэкстная інфармацыя выводзіцца з фізічнага становішча крэсла ў прасторы).

Альтэрнатыўная распрацоўка была прадстаўлена Інстытутам сістэм і робататэхнікі Каімбрскага ўніверсітэта Партугаліі. У якасці прататыпа выкарыстоўваецца рабатызаванае крэсла RobChair [5], якое абсталявана наборам рознага роду датчыкаў. Стваральнікі рэалізавалі тры мадэлі паводзін: інтэлектуальны абыход перашкод, дэтэктаванне сутыкненняў і рух па зададзенай траекторыі. Пры гэтым сістэма ўлічвае дзве адначасовыя плыні кіравання: каманды, якія падаюцца карыстальнікам з дапамогай джойсціка ці вуснага маўлення, і карэктыроўкі, што генеруюцца сістэмай абыходу перашкод. Гэта сістэма з'яўляецца цэнтральным кіравальным модулем. Сам модуль рэалізаваны на аснове невыразнай логікі абыходу перашкод.

Галасавое кіраванне заснавана на праграмным прыкладанні аўтаматычнага распазнавання маўлення Dragon.

Разумны дом. Быў праведзены шэраг даследаванняў, якія датычацца выкарыстання голасу ў тэхналогіях разумнага дому. Яны закраналі такія аспекты, як выкарыстанне распазнавання маўлення [6], распазнаванне гукаў [6, 7], сінтэз маўлення [8], а таксама дызайн дыялогаў [9, 10]. Адным з такіх праектаў з'яўляецца SweetHome. Распрацоўка прыналежыць навукоўцам і інжынерам з лабараторыі інфарматыкі Грэнобля і школы інжынерыі ESIGETEL у супрацоўніцтве з шэрагам камерцыйных кампаній [11]. Па большай частцы праектоўшчыкі рабілі стаўку не на распрацоўку новых тэхналогій, а на аптымальную адаптацыю існуючых. Тут варта адзначыць, што галасавое ўзаемадзеянне ажыццяўляецца пры дапамозе сістэмы AuditHIS [6].

Выкарыстанне ў адукацыі. Адным з рашэнняў задачы павышэння дакладнасці працы з маўленнем з'яўляецца дадатковае распазнаванне руху такога элемента маўленчага апарата як вусны. Гэта асабліва карысна ў праграмах, якія дапамагаюць у навучанні ці выпраўленні вымаўлення. Адпаведны праект распрацаваны даследнікамі з шэрагу ўніверсітэтаў Тайваня [12].

З тэхнічных момантаў варта адзначыць, што ў якасці вектару прыкмет маўленчага сігналу былі традыцыйна выкарыстаны мел-кепстры, а статыстычным метадам для распазнавання рухаў маўленчага апарата – схаваныя маркаўскія мадэлі і метады дынамічнага скрыўлення часу.

Выкарыстанне ў прамысловасці. Паколькі маўленне – гэта найбольш натуральная форма камунікацыі, цалкам заканамернай з'яўляецца тэндэнцыя адаптоўваць натуральную мову для кіравання рознага роду тэхнічнымі сродкамі і прамысловымі працэсамі. Прыкладам можа служыць сістэма двухбаковай галасавой камунікацыі для аператара тэхнічнай прылады [13].

Калі аператар аўтарызаваны інтэлектуальным пластом галасавога ўзаемадзеяння, вымаўленая ў форме бесперапыннага маўлення каманда распазнаецца адпаведным модулем і транслюецца ў тэкставы фармат. Далей тэкст разбіраецца падсістэмай сінтаксічнага аналізу. Апрацаваная каманда адпраўляецца ў модуль распазнавання слоў і каманд, дзе ідэнтыфікуецца з дапамогай нейроннай сеткі. У дадзеным выпадку выкарыстоўваецца трохслойная нейронная сетка Хэмінга. Наступным крокам з'яўляецца праца падсістэмы аналізу наступстваў гіпатэтычнага выканання каманды. Яе задача – ацаніць карэктнасць запыту, стан працэсу выканання і тэхнічную бяспеку сістэмы. Тут магчыма генерацыя памылак і выключэнняў датычна карэктнасці пададзенай каманды. Калі ўсе вышэйназваныя этапы паспяхова пройдзены, сістэма запуску каманд сігналізуе пра прыняцце запыту на выкананне, вызначае параметры новага працэсу і, нарэшце, запускае дырэктыву. На працягу валідацыі вымаўленай каманды

модуль галасавой камунікацыі сінтэзуе маўленчыя адказы. Паводле праведзеных даследаванняў модуль распазнавання маўлення дакладна вызначае 85–90 % слоў аператара. Дадатковая апрацоўка з дапамогай нейроннай сеткі павялічвае дакладнасць да 95 % [13].

Выкарыстанне для хуткай адаптацыі. Галасавое ўзаемадзеянне актыўна выкарыстоўваецца ў лічбавых сістэмах узаемадзеяння з навакольным светам, што дапамагае карыстальнікам хутка адаптавацца да ўжывання новых тэхналогій у паўсядзённым жыцці. Так, інтэрактыўная гульня TROC складаецца з мультымадальнага інтэрфейсу, які ў свайгу чаргу складаецца з напаяпразрыстых графічных пластоў (накладваюцца на відэа рэальнага становішча вакол карыстальніка) і модуля распазнавання маўлення (адказвае за кіраванне ў гульні) [14].

Галасавыя сэрвісы. У аснове кожнай маўленчай тэхналогіі ляжыць так званы рухавік (англ. engine), ці ядро праграмы, – набор дадзеных і правіл, па якіх ажыццяўляецца апрацоўка дадзеных. У залежнасці ад прызначэння гэтага ядра адрозніваюць TTS(Text-to-Speech)- і ASR(Automatic Speech Recognition)-рухавікі. TTS-рухавік дае магчымасць сінтэзу маўлення па тэксце, а ASR-рухавік – для распазнавання маўлення.

Існуе некалькі буйных вытворцаў, якія займаюцца стварэннем ASR-рухавікоў: Apple, Google, IBM, Yandex, Baidu, Microsoft. Іх прадукты могуць выкарыстоўвацца ў якасці персанальных асістэнтаў, ці з дапамогай API (Application Programming Interface) як сэрвіс для пабудавання ўжо сваіх асобных маўленчых інтэрфейсаў. Разгледзім некаторыя з рашэнняў, якія прапанавалі гэтыя вытворцы.

1. Асабісты асістэнт Siri ад Apple.

Па словах Барыса Катца (Boris Katz), даследчыка ў сферы штучнага інтэлекту з МТІ, кампанія Apple, аб'яднаўшы базавыя тэхналогіі з такіх сфер, як распазнаванне голасу і апрацоўка маўлення, «стварыла ўражлівы прыклад інжынернага мастацтва» (URL: <https://www.newscientist.com/article/mg21228365-300-how-innovative-is-apples-new-voice-assistant-siri/>).

Асноўную складанасць распрацоўкі падобных сістэм добра сфармуляваў навуковец у сферы машыннага навучання з універсітэту Оксфарда Філ Блансом (Phil Blunsom): «Праблема ў тым, што кожная з сістэм схільная да памылак, а пры іх узаемадзеянні колькасці памылак перамажваюцца» (URL: <https://www.newscientist.com/article/mg21228365-300-how-innovative-is-apples-new-voice-assistant-siri/>).

На дадзены момант карпарацыя Apple не збіраецца адкрываць тэхнічныя падрабязнасці сваёй сістэмы, аднак паводле патэнтаў, аформленых кампаніяй, праграма спраўляецца з памылкамі праз абмежаванне запытаў вызначанымі кантэкстнымі абласцямі. Apple называе такія вобласці «актыўнымі анталогіямі». Напрыклад, анталогія, прысвечаная арганізацыі абеданна, утрымоўвае базы дадзеных рэстаранаў, кулінарных вырабаў, посуду і г. д. сумесна з канцэпцыяй «прыняцце ежы», дзе маецца на ўвазе некалькі людзей, якія сабраліся паесці.

Том Грубер (Tom Gruber), адзін са стваральнікаў Siri, падкрэсліў, што тэхналогія актыўных анталогій не з'яўляецца новай, яна вядома яшчэ з 1995 года (URL: <https://www.newscientist.com/article/mg21228365-300-how-innovative-is-apples-new-voice-assistant-siri/>). Што адрознівае дадзены прадукт Apple ад астатніх праектаў, звязаных са штучным інтэлектам, так гэта, як выказаўся Філіп Разнік (Philip Resnik), спецыяліст па камп'ютарнай лінгвістыцы ўніверсітэта Мэрыленда, «высокая ступень засяроджанасці на аказанні дапамогі ў пэўнай вобласці» (URL: <https://www.newscientist.com/article/mg21228365-300-how-innovative-is-apples-new-voice-assistant-siri/>).

Siri выдзяляе ў запыце ключавыя словы, напрыклад «Мексіка», і вызначае адпаведную кантэкстную вобласць. Акрамя таго, прымаецца рашэнне пра неабходнасць запытаць дадатковую інфармацыю, да прыкладу: на які дзень забранаваць гатэль, ці хапае інфармацыі для доступу да адпаведнага сайта і афармлення замовы. Такі алгарытм не выклікае праблем, бо практычна кожны вэб-сэрвіс падае адпаведны API для атрымання інфармацыі ад любога прыкладання ў патрэбным выглядзе. «Гэта, дарэчы, адзін з чыннікаў, чаму такая сістэма, як Siri, не магла ўзнікнуць 10 гадоў назад», – складаў Разнік (URL: <https://www.newscientist.com/article/mg21228365-300-how-innovative-is-apples-new-voice-assistant-siri/>).

Варта таксама заўважыць, што апрацоўка інфармацыі адбываецца на серверах Apple і дае каштоўныя дадзеныя для далейшага паляпшэння працы Siri [15].

2. *Галасавы сэрвіс у сістэме Android ад Google.*

Для падтрымкі працы з маўленнем карпарацыя Google распрацавала цэлую сістэму «Google voice recognition engine», якая рэалізуе алгарытмы распазнавання і сінтэзу маўлення. Гэта сістэма праз свой API можа быць уключана ў рознага роду прыкладанні з мэтай пашырэння існуючага інтэрфейсу галасавым кіраваннем.

Для першай распрацоўкі модуля распазнавання маўлення ў якасці пачатковага набліжэння былі выкарыстаны акустычныя мадэлі ад сістэмы GOOG-411 [16]. N-грамныя мадэлі мовы разлічваліся па запыхах да пошукавай сістэмы. Пачаўшы з ручной разметкі навучальных дадзеных, стваральнікі сістэмы далей цалкам перайшлі на аўтаматычную падрыхтоўку навучальнага корпусу.

Кожны кадр запісу пераўтвораецца ў 39 PLP (Perceptual Linear Prediction)-кепстральных каэфіцыентаў. Трыфоны мадэлююцца схаванымі маркаўскімі мадэлямі з паўзвязанымі станамі, дзе для кожнага стану разлічваюцца параметры гаўсавай сумесі з поўнай каварыяцыйнай матрыцай [17]. Маўленне апрацоўваецца з частатой дыскрэтызацыі 16 кГц пры тым, што разглядаюцца толькі першыя 4 кГц.

Для смартфонаў і іншых прыстасаванняў на базе АС Android галасавы рухавічок прымяняецца для падтрымкі спецыяльнай уласцівасці пад назвай Voice Actions (URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text>). Гэта падсістэма арганізуе галасавое кіраванне для шырокага спектру паслуг, такіх як напісанне і адпраўка тэкставых паведамленняў і электронных лістоў, набор тэлефоннага нумара, праца з мультымедычным прайгравальнікам, навігацыя, пошук у Інтэрнэце.

Усе дзеянні, апроч галасавога пошуку ў Інтэрнэце, патрабуюць спецыяльнага падыходу да сінтаксічнага і семантычнага аналізу вымаўленай фразы. Карпарацыя пакуль не адкрывае ўсе асаблівасці апрацоўкі маўлення, аднак варта яшчэ раз заўважыць, што ў адрозненне ад Siri галасавыя службы Google патрабуюць уводу каманд у вызначаным фармаце. Напрыклад, калі карыстальнік жадае паслухаць песню, яго каманда павінна выглядаць як `listen to [выканаўца/песня/альбом]`, а запыт да навігатора знайсці маршрут будзе мець форму `navigate to [адрас/горад/назва фірмы]`, што паказвае на працяг даследаванняў у гэтым накірунку [16].

3. *Галасавы сэрвіс SpeechKit ад Yandex.*

Першапачаткова SpeechKit (URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/speechkit/stt>) працаваў толькі для пошукавых запыхаў агульнай тэматыкі і геанавігацыйных запыхаў. Але ўжо тады было задумана зрабіць не проста дадатковую прыладу ўводу, галасавую клавіятуру, а ўніверсальны інтэрфейс, які цалкам заменіць кожнае ўзаемадзеянне з сістэмай жывым маўленнем. Для гэтага трэба было навучыцца распазнаваць кожнае маўленне і тэксты на адвольную тэму. Каманда Яндэкса пачала працаваць над асобнай моўнай мадэллю, якая была б у некалькі разоў буйней існуючых геанавігацыйных і агульнапошукавых мадэляў. Такі памер мадэлі ставіў новыя ўмовы з пункту гледжання вылічальных рэсурсаў. Працаваць сістэма павінна была ў рэжыме рэальнага часу, таму ўсе разлікі трэба было дынамічна аптымізаваць. Паскарэнне было дасягнута, у тым ліку і зменаў бібліятэкі лінейнай алгебры. Аднак больш важна і складана было сабраць дастаткова правільных дадзеных, прыдатных для навучання патокавага маўлення. Цяпер для трэніроўкі акустычнай мадэлі выкарыстоўваюцца каля 500 гадзін уручную транскрыбіраванага маўлення. Гэта не такая ўжо вялікая база. Безумоўна, павелічэнне базы спрыяе ўзросту якасці навучанай мадэлі, але каманда Яндэкса акцэнтна працуе на правільную падрыхтоўку дадзеных і дакладную мадэль транскрыпцыі, што дазваляе з прымальнай якасцю навучацца на адносна невялікай базе.

Модуль распазнавання ўладкаваны наступным чынам. Паток запісанага маўлення наразаецца на фрэімы па 20 мс, спектр сігналу маштабуецца і пасля шэрагу ператварэнняў для кожнага фрэйма знаходзяцца каэфіцыенты MFCC (англ. Mel Frequency Cepstral Coefficients). Гэтыя каэфіцыенты паступаюць на ўваход акустычнай мадэлі, якая вылічае размеркаванне імавернасцяў для прыкладна 4000 сянонаў (гукавых адзінак, якія выкарыстоўваюцца ў якасці пачатка, сярэдзіны ці канца фанемы) у кожным фрэйме.

Акустычная мадэль SpeechKit пабудавана на камбінацыі схаваных маркаўскіх мадэляў і глыбокай нейроннай сеткі простага распаўсюджання (feedforward DNN).

Першая моўная мадэль складаецца з некалькіх WFST (англ. Weighted Finite State Transducer) – канчатковых трансд’юсараў з вагамі, якія ператвараюць сяноны ў кантэкстава-залежныя фанемы, а з іх ужо з дапамогай слоўніка вымаўленняў будуюцца цэлыя словы, прытым для кожнага слова атрымліваюцца сотні гіпотэз.

Фінальная апрацоўка адбываецца ў другой моўнай мадэлі. Да яе падлучана RNN (англ. Recurrent Neural Network, рэкурэнтная нейронная сетка), і гэтая мадэль рангуе атрыманыя гіпотэзы, дапамагаючы выбраць самы верагодны варыянт. Сетка рэкурэнтнага тыпу асабліва эфектыўная для моўнай мадэлі. Вызначаючы кантэкст кожнага слова, яна можа ўлічваць уплыў не толькі найбольш блізкіх слоў, як у нейроннай сетцы простага распаўсюджання, але і далей адлеглых, як бы запамінаючы іх.

Даследаванне натуральна-моўных інтэрфейсаў. Выкарыстанне натуральнай мовы для арганізацыі дыялогу карыстальніка з камп’ютарнай сістэмай у агульным выпадку звязана з шэрагам праблем: неадназначнасцю натуральнай мовы і неадпаведнасцю магчымасцяў рэалізацыі натуральна-моўнага інтэрфейсу спадзяваннем карыстальніка і інш.

Для натуральна-моўнага карыстальніцкага інтэрфейсу пытална-адказных сістэм магчыма выкарыстанне абмежаванай натуральнай мовы без сур’ёзнай шкоды іх функцыянальнасці. Дзякуючы выкарыстанню прадуманых лексічных і граматычных абмежаванняў, прынятых у рамках абмежаванай натуральнай мовы, з’яўляецца магчымасць пазбегнуць шматлікіх праблем, звязаных з аналізам неабмежаванай натуральнай мовы. Пры гэтым мова зносіна карыстальніка з камп’ютарнай сістэмай па-ранейшаму застаецца цалкам натуральнай, а працэс рэалізацыі гэтых зносіна становіцца больш кіраваным і ў значнай ступені спрашчаецца.

Карыстальнік, які ўпершыню сутыкнуўся з натуральна-моўным інтэрфейсам, можа мець завышаныя ці заніжаныя спадзяванні ад такой формы ўзаемадзеяння з камп’ютарнай сістэмай. Параўнальны аналіз тыпаў карыстальніцкіх інтэрфейсаў (заснаваных на формах з фармальнай мовай запытаў, графічных карыстальніцкіх інтэрфейсаў і інш.) паказвае, што пры іх пабудове з выкарыстаннем натуральнай мовы ў распрацоўшчыкаў пераважае жаданне максімальна наблізіць інтэрфейс да запатрабаванняў непадрыхтаванага карыстальніка. Гэта некалькі падмае планку патрабаванняў да ступені прыязнасці і надзейнасці (безадмоўнасці) натуральна-моўных карыстальніцкіх інтэрфейсаў, паколькі карыстальнік, упершыню сутыкнуўшыся з сістэмай, якая «разуме» натуральную мову, слаба ўяўляе рэальныя магчымасці такой сістэмы.

Для рашэння пазначанай вышэй праблемы на пачатковых этапах развіцця натуральна-моўнага інтэрфейсу можа быць выкарыстана спецыяльна прадугледжаная зваротная сувязь з карыстальнікам. У рамках такой зваротнай сувязі карыстальнік, які задае запыт сістэме, можа бачыць вынік разбору гэтага запыту і яго ўяўленне на фармальнай мове. Такім чынам, карыстальнік метадам спроб і памылак падчас працы з пытална-адказнай сістэмай прыстасоўваецца больш эфектыўна выкарыстоўваць усе магчымасці натуральна-моўнага інтэрфейсу. У якасці мэтавай фармальнай семантычнай мовы выкарыстоўваецца спецыялізаваная прадметна незалежная мова пытанняў, якая валодае большай семантычнай магутнасцю ў параўнанні з мовамі запытаў да баз дадзеных і ведаў, што спрашчае аналіз натуральна-моўных карыстальніцкіх запытаў.

Семантычная (сэнсавая) неадназначнасць натуральна-моўнага дыялогу можа развязацца за кошт таго, што прадметная і лінгвістычная базы ведаў ствараюцца ў рамках адзінай інфармацыйнай прасторы, адзінай прадметнай вобласці. У кожнага паняцця і адносіны ў гэтым выпадку ў прадметнай базе ведаў маюцца адпаведныя натуральна-моўныя ідэнтыфікатары (словы натуральнай мовы), што складае першасную сувязь прадметных і лінгвістычных ведаў. Пабудова больш разгорнутых сувязяў з’яўляецца задачай распрацоўшчыка лінгвістычнай базы ведаў пэўнай пытална-адказнай сістэмы для вызначанай прадметнай вобласці.

Мадэляванне натуральна-моўнага інтэрфейсу. Натуральна-моўны карыстальніцкі інтэрфейс зручна разглядаць як спецыялізаваную інтэлектуальную сістэму, якая забяспечвае дыялог паміж прыкладной сістэмай і карыстальнікам. Такім чынам, будучы інтэлектуальнай сістэмай,

натуральна-моўны інтэрфейс у якасці асноўных сваіх кампанентаў мае базу ведаў, машыну апрацоўкі ведаў і карыстальніцкі інтэрфейс.

Асноўныя функцыянальныя магчымасці натуральна-моўнага інтэрфейсу:

– забеспячэнне працэсу ўвода паведамлення ў натуральна-моўнай форме пасродкам тэксту ці маўлення;

– трансляцыя паведамлення карыстальніка на ўнутраную мову інтэлектуальнай сістэмы;

– трансляцыя адказу сістэмы ў натуральна-моўнай форме пасродкам тэксту ці маўлення.

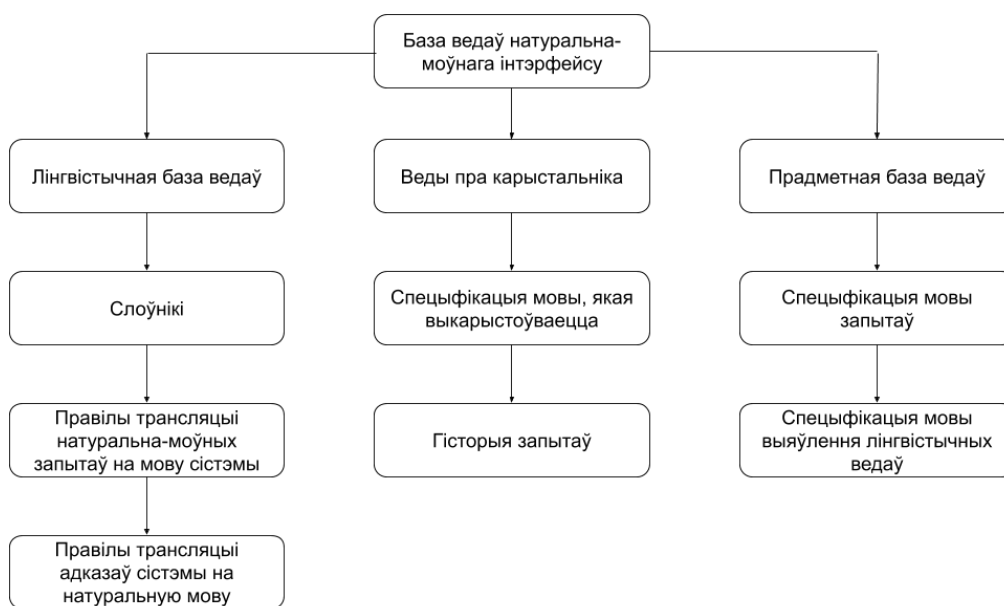
Паказаны функцыянал вызначае структуру інтэлектуальнай сістэмы натуральна-моўнага інтэрфейсу, якая ўключае:

– карыстальніцкі інтэрфейс, пасродкам якога адбываецца ўвод паведамленняў карыстальніка і вывад адказу сістэмы карыстальніку;

– транслятары натуральна-моўных пытанняў на ўнутраную мову запытаў;

– транслятары ўнутранага выяўлення ведаў на натуральную мову.

База ведаў натуральна-моўнага інтэрфейсу. Дадзеная база падзяляецца на лінгвістычную і прадметную базы ведаў. Прадметная база ведаў выкарыстоўваецца пытална-адказнай сістэмай для пошуку і генерацыі адказаў па запытах карыстальніка. Акрамя таго, натуральна-моўны інтэрфейс выкарыстоўвае гэту базу ведаў для вырашэння шэрагу праблем, звязаных з неадназначнасцю натуральнай мовы, бо прадметная база ведаў канкрэтна задае кантэкст дыялогу карыстальніка з пытална-адказнай сістэмай [18] (малюнак).



Структура базы ведаў натуральна-моўнага інтэрфейсу

Лінгвістычная база ведаў утрымлівае фармальнае апісанне натуральнай мовы, прывязку лексікі да прадметнай базы ведаў і спецыфікацыі семантычных моў. Для апісання ведаў пра кожны з узроўняў натуральнай мовы выкарыстоўваецца спецыялізаваная семантычная мова выяўлення лінгвістычных ведаў. Спецыфікацыя дадзенай мовы таксама ўваходзіць у склад лінгвістычнай базы ведаў. На практыцы лінгвістычная база ведаў можа не ўключаць усе ўзроўні апісання натуральнай мовы, бо выкарыстанне абмежаванай мовы для зносін карыстальніка з сістэмай можа даць больш якасны вынік, чым выкарыстанне неабмежаванай натуральнай мовы [19].

Машына апрацоўкі ведаў. Машына апрацоўкі ведаў натуральна-моўнага інтэрфейсу ўключае аперацыі, якія забяспечваюць апрацоўку розных лінгвістычных канструкцый, пераклад знешніх моў на семантычныя мовы інтэлектуальнай сістэмы і ў зваротным напрамку.

Усе кампаненты машыны апрацоўкі ведаў натуральна-моўнага інтэрфейсу можна падзяліць на транслятары і аналізатары. У задачу транслятараў уваходзіць пераклад ведаў з адной мовы

выяўлення ведаў у іншую, напрыклад трансляцыя фактаграфічных ведаў па прадметнай вобласці ў тэкст на натуральнай мове. Задачай аналізатараў з'яўляецца аналіз фрагментаў ведаў і выяўленне раней невядомых фактаў, напрыклад запыту карыстальніка, які накіраваны на пошук мэты і задачы пытання. Транслятары натуральна-моўнага інтэрфейсу ў мінімальнай канфігурацыі павінны складацца з транслятару абмежаванай натуральнай мовы на мову запытаў і транслятару фактаграфічных ведаў на абмежаваную натуральную мову. Транслятары натуральна-моўнага карыстальніцкага інтэрфейсу ажыццяўляюць апрацоўку інфармацыйных структур з апорай выключна на апісанне сінтаксісу той мовы, якая выкарыстоўваецца, а таксама на апісанне семантыкі прадметнай вобласці. Апісанне сінтаксісу мовы, якая выкарыстоўваецца, захоўваецца ў лінгвістычнай і прадметнай базах ведаў. У лінгвістычнай базе ведаў павінны быць таксама апісанья спецыфічныя для дадзенай вобласці ведаў пра мову. Такі фрагмент базы ведаў можа прадстаўляць сабою асобны кампанент, бо ён уяўляе каштоўнасць толькі ў сукупнасці з прадметнай і лінгвістычнай базамі ведаў.

Цыкл працы натуральна-моўнага інтэрфейсу пачынаецца з уводу карыстальнікам паведамлення на натуральнай мове праз увод тэксту ці галасавога (маўленчага) паведамлення. Па ўведзеным у сістэму тэксце будзеце яго фармальнае апісанне ў памяці сістэмы. Усе папярэднія вынікі аналізу прымяняюцца пры аналізе наступных запытаў, што дазваляе сістэме захоўваць ход дыялогу з карыстальнікам і вырашаць спрэчныя моманты, звязаныя з выкарыстаннем адных і тых жа тэрмінаў у розных прадметных абласцях.

Семантычны аналіз з'яўляецца найбольш складаным этапам апрацоўкі натуральна-моўнага тэксту. У рамках тэхналогіі семантычны аналіз уяўляе сабою апрацоўку семантычнай сеткі, якая фарміруе вынік аналізу натуральна-моўнага тэксту на ўсіх папярэдніх этапах, а таксама прысутных у сістэме ведаў пра мову і прадметнай вобласці асноўнай сістэмы. На гэтым этапе адбываецца аналіз суадносін лінгвістычнай канструкцыі і канструкцыі памяці сістэмы для выяўлення адносін адпаведнасці, эквівалентнасці і г. д. Вынікам семантычнага аналізу з'яўляецца падграф семантычнай сеткі, які трансліюецца ў запыт да сістэмы.

Запыты да сістэмы, згенераваныя натуральна-моўным інтэрфейсам, апрацоўвае ўніверсальны вырашальнік пытальна-адказных сістэм, які з'яўляецца часткай пытальна-адказнай сістэмы па адпаведнай прадметнай вобласці.

Атрыманы ад прадметнай даведкавай сістэмы адказ трансліюецца ў тэкст на абмежаванай натуральнай мове, які ў выніку выводзіцца карыстальніку [20, 21].

Заклучэнне. Кампаненты сістэмы распазнавання і сінтэзу маўлення па тэксце даюць канчатковаму карыстальніку магчымасць вусна задаваць пытанне і чуць адказ на яго ад сістэмы, што робіць натуральна-моўны інтэрфейс яшчэ больш зручным.

Магчымасць інтэграцыі іншых распрацовак і праектаў у якасці знешніх кампанентаў дазваляе сумяшчаць розныя падыходы і метады ў рамках аднаго праекта і тым самым эфектыўна выкарыстоўваць іх лепшыя бакі.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Anonymous indoor navigation system on handheld mobile devices for visually impaired / C. Feng [et al.] // Intern. J. of Wireless Information Networks. – 2012. – Vol. 19, iss. 4. – P. 352–367.
2. Development and validation of a robust speech interface for improved human-robot interaction / A. Atrash [et al.] // Intern. J. of Social Robotics. – 2009. – No. 1. – P. 345–356.
3. Steedman, M. Combinatory categorial grammar / M. Steedman, J. Baldrige // Blackwell Sci, Oxford [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: ftp://ftp.cogsci.ed.ac.uk/pub/steedman/ccg/manifesto.pdf. – Date of access: 22.10.2012.
4. Sondik, E. The optimal control of partially observable Markov processes over a Finite Horizon / E. Sondik, R. Smallwood // Operations Research. – 1973. – Vol. 21, no. 5. – P. 1071–1088.
5. A powered wheelchair using a behaviour-based navigation / G. Pires [et al.] // 5th Intern. Workshop on Advanced Motion Control (AMC'98-Coimbra), Coimbra, Portugal, 29 June – 1 July 1998. – Coimbra, 1998. – P. 536–541.
6. Complete sound and speech recognition system for health smart homes: application to the recognition of activities of daily living / M. Vacher [et al.] // New Developments in Biomedical Engineering / D. Campolo (ed.). – 2010. – P. 645–673.

7. Rougui, J. Audio sound event identification for distress situations and context awareness / J. Rougui, D. Istrate, W. Soudiene // Proc. of the 31 Annual Intern. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'09), Minneapolis, USA, 2–6 Sept. 2009. – Minneapolis, 2009. – P. 3501–3504.
8. Lines, L. Multiple voices, multiple choices: older adults' evaluation of speech output to support independent living / L. Lines, K. S. Hone // Gerontechnology. – 2006. – Vol. 5(2). – P. 78–91.
9. Study of a speech-based smart home system with older users / F. Godde [et al.] // Proc. of the First Intern. Workshop Intelligent User Interfaces for Ambient Assisted Living (IUI4AAL'2008), Canary Islands, Spain, 1 Jan. 2008. – Canary Islands, 2008. – P. 17–22.
10. Development of an automated speech recognition interface for personal emergency response systems / M. Hamill [et al.] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation [Electronic resource]. – 2009. – Vol. 6, iss. 26. – Mode of access: <http://www.jneuroengrehab.com/content/6/1/26>. – Date of access: 15.11.2012.
11. Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects / F. Portet [et al.] // Personal and Ubiquitous Computing. – 2011. – Vol. 17, iss. 1. – P. 127–144.
12. Huang, W. C. An intelligent multimedia e-learning system for pronunciations / W. C. Huang, T. L. Chang, H. P. Lin // Lecture Notes in Computer Science. – 2007. – Vol. 4570. – P. 84–93.
13. Kacalak, W. Automatic recognition and verification of voice commands in natural language given by the operator of the technological device using artificial neural networks / W. Kacalak, M. Majewski // Computer Recognition Systems : Proc. of the 4th Intern. Conf. on Computer Recognition Systems (CORES '05), Koszalin, Poland, 2005. – Koszalin, 2005. – Part V. – P. 689–696.
14. Generic interaction techniques for mobile collaborative mixed systems / P. Renevier [et al.] // Computer-Aided Design of User Interfaces IV. – Holland : Kluwer Academic Publishers, 2005. – P. 309–322.
15. Aron, J. Your iPhone is listening. Siri's ability to make sense of ordinary language sets it apart from the herd / J. Aron // New Scientist. – 2011. – No. 2836. – P. 24.
16. Google search by voice: a case study / J. Schalkwyk [et al.] // Visions of Speech: Exploring New Voice Apps in Mobile Environments, Call Centers and Clinics. – California, USA : Google, Inc. – 2010. – P. 1–35.
17. Gales, M. J. F. Semi-tied full-covariance matrices for hidden Markov models / M. J. F. Gales // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. – 1997. – Vol. 7, iss. 3. – P. 272–281.
18. Сулейманов, Д. Ш. Двухуровневый лингвистический процессор ответных текстов на естественном языке / Д. Ш. Сулейманов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): материалы I Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2 окт. 2011 г. / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2011. – С. 311–322.
19. Long, B. Natural language as an interface style / B. Long // Dynamic Graphics Project Department of Computer Science University of Toronto [Electronic resource]. – 1994. – Mode of access: <http://www.dgp.utoronto.ca/~byron/papers/nli.html>. – Date of access: 15.03.2012.
20. Карпилович, Т. П. Алгоритмы порождения предложений естественного языка (обзор и анализ) / Т. П. Карпилович. – Минск, 1977. – 300 с.
21. Попов, Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э. В. Попов. – М. : Наука, 1982. – 360 с.

References

1. Feng C., Valaee S., Wain Sy Au A., Reyes S., Sorour S., ..., Eizenman M. Anonymous indoor navigation system on handheld mobile devices for visually impaired. *International Journal of Wireless Information Networks*, 2012, vol. 19, iss. 4, pp. 352–367.
2. Atrash A., Kaplow R., Villemure J., West R., Yamani H., Pineau J. Development and validation of a robust speech interface for improved human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 2009, no. 1, pp. 345–356.
3. Steedman M., Baldridge J. Combinatory categorial grammar. *Blackwell Sci, Oxford*. Available at: <ftp://ftp.cogsci.ed.ac.uk/pub/steedman/ccg/manifesto.pdf> (accessed 22.10.2012).
4. Sondik E., Smallwood R. The optimal control of partially observable Markov processes over a Finite Horizon. *Operations Research*, 1973, vol. 21, no. 5, pp. 1071–1088.
5. Pires G., Araújo R., Nunes U., Almeida A. A powered wheelchair using a behaviour-based navigation. *5th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC'98-Coimbra), Coimbra, Portugal, 29 June – 1 July 1998*. Coimbra, 1998, pp. 536–541.
6. Vacher M., Fleury A., Portet F., Serignat J. F., Noury N. Complete sound and speech recognition system for health smart homes: application to the recognition of activities of daily living. *New Developments in Biomedical Engineering*. D. Campolo (ed.), 2010, pp. 645–673.

7. Rougui J., Istrate D., Souidene W. Audio sound event identification for distress situations and context awareness. *Proceedings of the 31 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'09), Minneapolis, USA, 2–6 September 2009*. Minneapolis, 2009, pp. 3501–3504.
8. Lines L., Hone K. S. Multiple voices, multiple choices: older adults' evaluation of speech output to support independent living. *Gerontechnol*, 2006, vol. 5(2), pp. 78–91.
9. Godde F., Moller S., Engelbrecht K. P., Kuhnel C., Schleicher R., ..., Wolters M. Study of a speech-based smart home system with older user. *Proceedings of the First International Workshop Intelligent User Interfaces for Ambient Assisted Living (IUI4AAL'2008), Canary Islands, Spain, 1 January 2008*. Canary Islands, 2008, pp. 17–22.
10. Hamill M., Young V., Boger J., Mihailidis A. Development of an automated speech recognition interface for personal emergency response systems. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2009, vol. 6, iss. 26. Available at: <http://www.jneuroengrehab.com/content/6/1/26> (accessed 15.11.2012).
11. Portet F., Vacher M., Golanski C., Roux C., Meillon B. Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2011, vol. 17, iss. 1, pp. 127–144.
12. Huang W. C., Chang T. L., Lin H. P. An intelligent multimedia e-learning system for pronunciations. *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, vol. 4570, pp. 84–93.
13. Kacalak W., Majewski M. Automatic recognition and verification of voice commands in natural language given by the operator of the technological device using artificial neural networks. *Computer Recognition Systems: Proceedings of the 4th International Conference on Computer Recognition Systems (CORES '05), Koszalin, Poland*. Koszalin, 2005, part V, pp. 689–696.
14. Renevier P., Nigay L., Bouchet J., Pasqualetti L. Generic interaction techniques for mobile collaborative mixed systems. *Computer-Aided Design of User Interfaces IV*. Holland, Kluwer Academic Publishers, 2005, pp. 309–322.
15. Aron J. Your iPhone is listening. Siri's ability to make sense of ordinary language sets it apart from the herd. *New Scientist*, 2011, no. 2836, pp. 24.
16. Schalkwyk J., Beeferman D., Beaufays F., Byrne B., Chelba C., ..., Strobe B. Google search by voice: a case study. *Visions of Speech: Exploring New Voice Apps in Mobile Environments, Call Centers and Clinics*. California, USA, Google, Inc., 2010. pp. 1–35.
17. Gales M. J. F. Semi-tied full-covariance matrices for hidden Markov models. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 1997, vol. 7, iss. 3, pp. 272–281.
18. Sulejmanov D. Sh. Dvuhurovnevyy lingvisticheskij processor otvetnyh tekstov na estestvennom yazyke [Two-level linguistic processor for natural language answering texts]. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS–2011): materialy I Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Minsk, 2 oktjabrja 2011 g. [Materials of the International Scientific and Technical Conference, Minsk, 2 October 2011], Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2011, pp. 311–322 (in Russian).
19. Long B. Natural language as an interface style. *Dynamic Graphics Project Department of Computer Science University of Toronto*. Available at: <http://www.dgp.toronto.edu/people/byron/papers/nli.html> (accessed: 15.03.2012).
20. Karpilovich T. P. Algoritmy porozhdeniya predlozhenij estestvennogo yazyka (obzor i analiz). *Algorithms of Natural Language Sentences Generation (Overview and Analysis)*. Minsk, 1977, 300 p. (in Russian).
21. Popov E. V. Obshchenie s EVM na estestvennom yazyke. *Communication with a computer using natural Language*. Moscow, Nauka, 1982, 360 p. (in Russian).

Інфармацыя пра аўтараў

Юрась Станіслававіч Гецэвіч, кандыдат тэхнічных навук, загадчык лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення, Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь.
E-mail: yuras.hetsevich@gmail.com

Уладзімір Аляксандравіч Жытко, кандыдат тэхнічных навук, Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі, Мінск, Беларусь.
E-mail: zhitko.vladimir@gmail.com

Information about the authors

Yuras S. Hetsevich, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Speech Recognition and Synthesis Laboratory, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
E-mail: yuras.hetsevich@gmail.com

Vladimir A. Zhitko, Cand. Sci. (Eng.), Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.
E-mail: zhitko.vladimir@gmail.com

Святлана Анатольеўна Гецэвіч, магістр філалагічных навук, малодшы навуковы супрацоўнік, Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь.
E-mail: novaeimya@gmail.com

Лесья Іосіфаўна Кайгародава, магістр тэхнічных навук, аспірант, малодшы навуковы супрацоўнік, Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь.
E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com

Кірыл Аляксандравіч Нікалаенка, аспірант, Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь.
E-mail: Anak247@gmail.com

Sviatlana A. Hetsevich, Master of Science, Junior Researcher, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
E-mail: novaeimya@gmail.com

Lesia I. Kaigorodova, Master of Science, Postgraduate Student, Junior Researcher, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com

Kiryl A. Nikalaenka, Postgraduate Student, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
E-mail: Anak247@gmail.com