

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

ИНФОРМАТИКА

Informatika

Том 18, № 4, октябрь-декабрь 2021

Ежеквартальный научный журнал

Издается с января 2004 г.

Учредитель и издатель – Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси (ОИПИ НАН Беларуси)

Г л а в н ы й р е д а к т о р

Тузиков Александр Васильевич, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН Беларуси,
генеральный директор ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

З а м е с т и т е л ь г л а в н о г о р е д а к т о р а

Ковалев Михаил Яковлевич, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН Беларуси,
ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я

Абламейко Сергей Владимирович, д-р техн. наук, проф., академик НАН Беларуси, БГУ (Минск, Беларусь)

Анищенко Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент, ООО «СофтКлуб» (Минск, Беларусь)

Бибило Петр Николаевич, д-р техн. наук, проф., ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Бобов Михаил Никитич, д-р техн. наук, проф., БГУИР (Минск, Беларусь)

Долгий Александр Борисович, д-р техн. наук, проф., Высшая инженерная школа Бретани (Нант, Франция)

Дудин Александр Николаевич, д-р физ.-мат. наук, проф., БГУ (Минск, Беларусь)

Карпов Алексей Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, СПИИРАН (Санкт-Петербург, Россия)

Килин Сергей Яковлевич, д-р физ.-мат. наук, проф., академик НАН Беларуси, Президиум НАН
Беларуси (Минск, Беларусь)

Краснопрошин Виктор Владимирович, д-р техн. наук, проф., БГУ (Минск, Беларусь)

Крот Александр Михайлович, д-р техн. наук, проф., ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Кругликов Сергей Владимирович, д-р воен. наук, канд. техн. наук, доцент, ОАО «Гипросвязь»
(Минск, Беларусь)

Кундас Семен Петрович, д-р техн. наук, проф., БНТУ (Минск, Беларусь)

Лиходед Николай Александрович, д-р физ.-мат. наук, проф., БГУ (Минск, Беларусь)

Матус Петр Павлович, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт математики НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Скляров Валерий Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Университет Авейру (Авейру, Португалия)

Сотсков Юрий Назарович, д-р физ.-мат. наук, проф., ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Стемпковский Александр Леонидович, д-р техн. наук, проф., академик РАН, ИПИМ РАН (Москва, Россия)

Харин Юрий Семенович, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН Беларуси, НИИ ППМИ БГУ
(Минск, Беларусь)

Чернявский Александр Федорович, д-р техн. наук, проф., академик НАН Беларуси, НИИ ПФП
им. А. Н. Севченко БГУ (Минск, Беларусь)

Ярмолик Вячеслав Николаевич, д-р техн. наук, проф., БГУИР (Минск, Беларусь)

Редакционный совет

Ефанов Дмитрий Викторович, Российский университет транспорта (Московский институт инженеров транспорта) (Москва, Россия)

Кумари Мадху, Университетский центр исследований и разработок, Университет Чандигарха (Мохали, Пенджаб, Индия)

Лазарев Александр Алексеевич, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (Москва, Россия)

Лай Цунг-Чьян, Азиатский университет в Тайчжуне (Китайская Народная Республика, Тайвань)

Марина Нинослав, Университет информационных наук и технологий им. Св. апостола Павла (Охрид, Македония)

Меликян Вазген Шаваршович, Национальный политехнический университет Армении (Ереван, Армения)

Пеш Эрвин, Зигенский университет (Зиген, Германия)

Сингх Таджиндер, Институт инженерии и технологий Сант Лонговал (Лонговал, Пенджаб, Индия)

Ходаченко Максим Леонидович, Институт космических исследований Австрийской академии наук (Грац, Австрия)

Чиулла Карло, Университет Эпока (Тирана, Албания)

Штейнберг Борис Яковлевич, Институт математики, механики и компьютерных наук Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия)

ИНФОРМАТИКА

Том 18, № 4, октябрь-декабрь 2021

Ответственный за выпуск *Мойсейчик Светлана Сергеевна*

Редактор *Гончаренко Галина Борисовна*

Корректор *Михайлова Анна Антоновна*

Компьютерная верстка *Бутевич Ольга Борисовна*

Сдано в набор 29.11.2021. Подписано в печать 23.12.2021. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 12,7. Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 40 экз. Заказ 10.

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/274 от 04.04.2014. ЛП № 02330/444 от 18.12.13. Ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Беларусь.

ISSN 1816-0301 (Print)
ISSN 2617-6963 (Online)

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Липницкий С. Ф. Информационная поддержка принятия решений при описании проблемной ситуации	7
Марков А. Н., Игнатович Р. О., Парамонов А. И. Выбор сервиса видео-конференц-связи и его адаптация для учреждения образования	17
Сидоренко А. В., Солодухо Н. А. Оценка состояния умственной усталости оператора под действием электромагнитного шумового излучения	26
Гецэвіч Ю. С., Дзенісюк Д. А., Гецэвіч С. А., Кайгародава Л. І., Нікалаенка К. А. Праектаванне беларуска- і рускамоўных натуральна-маўленчых інтэрфейсаў для даведкавых сістэм.....	40
Ким Т. Ю., Прокопович Г. А. Оптимизация коэффициентов ПИД-регулятора системы управления движением мобильного робота по цветоконтрастной линии на основе генетического алгоритма	53

КОСМИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Золотой С. А., Страшко И. Б., Котов Д. С., Нестерович И. М., Рубо В. В., Волохович Д. В. Опыт совершенствования программных комплексов дистанционного зондирования Земли для обнаружения тепловых аномалий	69
---	----

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ковалев М. Я., Розин Б. М., Шатерник И. А. Подход к оптимизации зарядной инфраструктуры автономных троллейбусов для городских маршрутов.....	79
---	----

ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д. Распознавание логических вентилей в плоской транзисторной схеме.....	96
---	----

УЧЕНЫЕ БЕЛАРУСИ

Геннадий Римский – крупный ученый, поэт, переводчик	108
--	-----



УДК 004.822: 514

<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-40-52>*Арыгінальны артыкул*
Original Paper

Праектаванне беларуска- і рускамоўных натуральна-маўленчых інтэрфейсаў для даведкавых сістэм

Ю. С. Гецэвіч, Д. А. Дзенісюк, С. А. Гецэвіч, Л. І. Кайгародава[✉], К. А. Нікалаенка

Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі

Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,

вул. Сурганава, 6, Мінск, 220012, Беларусь

✉E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com

Анотацыя

Мэты. Галоўнай мэтай працы з'яўляецца даследаванне натуральна-маўленчых карыстальніцкіх інтэрфейсаў, а таксама стварэнне прататыпу такога інтэрфейсу на прыкладзе двухмоўнай пытальна-адказнай дыялогавай сістэмы з выкарыстаннем рускай і беларускай моў. Натуральна-маўленчыя 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-маўленчага інтэрфейсу спадзяваннем карыстальніка.

Метады. Прыводзяцца асноўныя прынцыпы мадэлявання натуральна-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу. Будучы інтэлектуальнай сістэмай, у якасці асноўных сваіх кампанентаў ён мае базу ведаў, машыну апрацоўкі ведаў і карыстальніцкі інтэрфейс. Кампаненты сістэмы распазнавання і сінтэзу маўлення па тэксте робяць натуральна-маўленчы інтэрфейс яшчэ больш зручным для карыстальніка.

Вынікі. Прадстаўлена апісанне прататыпа інтэрфейсу натуральнай мовы для інтэлектуальнай пытальна-адказнай сістэмы. Мадэль прататыпа ўключае ў сябе беларускую і рускую версіі падсістэмы («маўленне ў тэкст» і «тэкст у маўленне»), генерацыю адказаў у выглядзе натуральнай мовы і фармальнага тэксту.

Дадатковы кампанент – падача на ўваход сістэмы чалавечага маўлення. Некаторыя дадзеныя, неабходныя для распазнавання натуральнага маўлення, захоўваюцца ў базе ведаў альбо ствараюцца на аснове існуючых ведаў. Сінтэз беларускага і рускага маўлення з'яўляецца неабходным для таго, каб зрабіць інтэрфейс на натуральнай мове больш зручным для карыстальнікаў.

Заклучэнне. Прадстаўлена паслядоўнасць даследавання і праектавання натуральна-маўленчых карыстальніцкіх інтэрфейсаў. Прыводзіцца апісанне прататыпа інтэрфейсу натуральнай мовы для інтэлектуальнай пытальна-адказнай сістэмы.

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

Для цытавання. Праектаванне беларуска- і рускамоўных натуральна-маўленчых інтэрфейсаў для даведкавых сістэм / Ю. С. Гецэвіч [і інш.] // Інформатика. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 40–52.

<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-40-52>

Канфлікт інтарэсаў. Аўтары заяўляюць аб адсутнасці канфлікту інтарэсаў.

Паступіла ў рэдакцыю | Received 01.10.2021

Падпісана ў друк | Accepted 04.11.2021

Апублікавана | Published 29.12.2021

Design of Belarusian and Russian natural language interfaces for online help systems

Yuras S. Hetsevich, Dzmitry A. Dzenisyk, Sviatlana A. Hetsevich, Lesia I. Kaigorodova✉, Kiryl A. Nikalaenka

*The United Institute of Informatics Problems
of the National Academy of Sciences of Belarus,
st. Surganova, 6, Minsk, 220012, Belarus
✉E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com*

Abstract

Objectives. The main goal of the work is a research of the natural language user interfaces and the development of a prototype of such an interface. The prototype is a bilingual Russian and Belarusian question-and-answer dialogue system. The research of the natural language interfaces was conducted in terms of the use of natural language for interaction between a user and a computer system. The main problems here are the ambiguity of natural language and the difficulties in the design of natural language interfaces that meet user expectations.

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

Results. The description of the prototype of a natural language interface for a question-and-answer intelligent system is presented. The model of the prototype includes speech-to-text and text-to-speech Belarusian and Russian subsystems, generation of responses in the form of the natural language and formal text.

An additional component is natural Belarusian and Russian voice input. Some of the data, required for human voice recognition, are stored as knowledge in the knowledge base or created on the basis of existing knowledge. Another important component is Belarusian and Russian voice output. This component is the top required for making the natural language interface more user-friendly.

Conclusion. The article presents the research of natural language user interfaces, the result of which provides the development and description of the prototype of the natural language interface for the intelligent question-and-answer system.

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

For citation. Hetsevich Y. S., Dzenisyk D. A., Hetsevich S. A., Kaigorodova L. I., Nikalaenka K. A. *Design of Belarusian and Russian natural language interfaces for online help systems*. Informatika [Informatics], 2021, vol. 18, no. 4, pp. 40–52 (In Russ.). <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-40-52>

Conflict of interest. The authors declare of no conflict of interest.

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 вядзення зручных чалавечымашынных дыялогаў. Перспектыўным у гэтым выпадку ўяўляецца выкарыстанне звыклай для карыстальніка натуральнай мовы арганізацыі дыялогу з камп'ютарнай сістэмай. Такая магчымасць рэалізуецца сродкамі натуральна-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу, які валодае шэрагам пераваг: мінімальнай падрыхтоўкай карыстальніка для працы з сістэмай, прастатой і высокай 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-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу пытальяна-адказных сістэм магчыма выкарыстанне абмежаванага набору лексікі і граматыкі мовы без значнай шкоды функцыянальнасці для пытальяна-адказнай сістэмы. Абмежаваная натуральная мова (як падмноства натуральнай мовы, пасродкам якога без якіх-небудзь намаганняў успры-

маецца носьбітам зыходная натуральная мова) не патрабуе працяглага вывучэння для набывання навыкаў складання тэкстаў, бо мае скарочаны набор лексікі і граматыкі. Гэта дазваляе зменшыць час апрацоўкі натуральна-маўленчых канструкцый у пытална-адказнай сістэме, а таксама часткова пазбегнуць лінгвістычных неадназначнасцяў.

Прапанаваная мадэль карыстальніцкага натуральна-маўленчага інтэрфейсу для беларускай і рускай мовы складаецца з асобных кампанентаў, якія ўзаемадзейнічаюць паміж сабой: сістэмы распазнавання і сінтэзу маўлення, сістэмы аналізу і генерацыі тэксту. У дадзеным артыкуле разглядаецца распрацоўка ўніверсальных і спецыялізаваных моў зносінаў для ўсіх кампанентаў, прычым адным з такіх базавых моў з'яўляецца семантычная мова пытанняў.

Мадэляванне натуральна-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу. Натуральна-маўленчы карыстальніцкі інтэрфейс зручна разглядаць як спецыялізаваную інтэлектуальную сістэму, якая забяспечвае дыялог паміж прыкладной сістэмай і карыстальнікам. Такі інтэрфейс, як і любая іншая падобная сістэма, у якасці асноўных сваіх кампанентаў валодае базай ведаў, машынай апрацоўкі ведаў і карыстальніцкім інтэрфейсам.

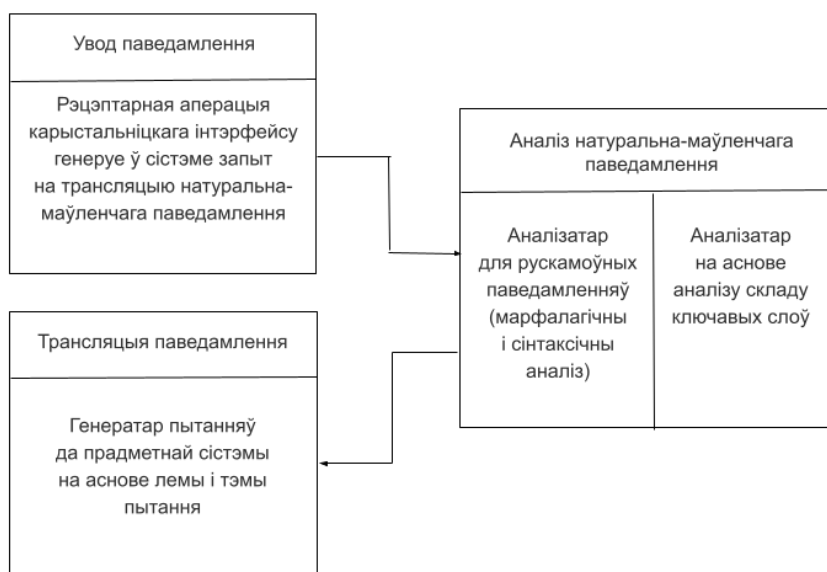
Вызначым асноўныя функцыянальныя магчымасці натуральна-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу:

- увод паведамлення ў натуральна-маўленчай форме пасродкам тэксту ці маўлення;
- трансляцыя паведамлення карыстальніка на ўнутраную мову інтэлектуальнай сістэмы;
- трансляцыя адказу сістэмы ў тэксты натуральнай мовы ў форме тэксту ці маўлення.

Структура інтэлектуальнай сістэмы натуральна-маўленчага інтэрфейсу адпаведна вызначанаму функцыяналу ўключае:

- карыстальніцкі інтэрфейс, пасродкам якога адбываецца ўвод паведамленняў карыстальніка і вывад адказу сістэмы карыстальніку;
- транслятары натуральна-маўленчых запытаў на ўнутраную мову пытанняў;
- транслятары ўнутранага выяўлення ведаў на натуральную мову.

Калі ў сістэме выкарыстоўваецца толькі адна натуральная мова, то дзейнасць складальнікаў сістэмы ўяўляе сабой паслядоўную апрацоўку ўваходнага паведамлення. Калі ж у сістэме выкарыстоўваюцца некалькі моў ці некалькі кампанентаў, якія выконваюць адны і тыя ж функцыі, працэс працы натуральна-маўленчага інтэрфейсу пачынае разгаліноўвацца (мал. 1).



Мал. 1. Паслядоўнасць дзейнасці кампанентаў натуральна-маўленчага інтэрфейсу з некалькімі транслятарамі

Fig. 1. Sequence of activities of components of natural language interface with several translators

Пакуль адзін з транслятараў не створыць у сістэме рэму і тэму зададзенага карыстальнікам пытання, трансляцыя самага пытання не адбудзецца. Такім чынам, карыстальнік убачыць адказ на сваё пытанне толькі тады, калі прадметная інтэлектуальная пытальна-адказная сістэма апрацуе ўваходны запыт, што адбудзецца толькі пасля таго, як аналізатар ці транслятар яго згенеруе. Можна сказаць, што ў сістэме адбываецца вольная канкурэнцыя функцыянальна падобных кампанентаў. Тыя кампаненты, якія «не паспелі» згенераваць запыт, пры яго з'яўленні ў памяці сістэмы завяршаюць сваю бягучую задачу.

Для аналізу натуральна-маўленчага запыту на беларускай мове былі распрацаваны адпаведныя лінгвістычныя рэсурсы. А менавіта для атрымання лем з пытання карыстальніка былі падрыхтаваны спісы патэнцыйных словаформаў, якія могуць быць у пытаннях карыстальніка, для кожнай лемы (табл. 1).

Табліца 1. Фрагмент лінгвістычных рэсурсаў (усяго 3061 запіс) для вызначэння лемы словаформы на беларускай мове
Table 1. Fragment of linguistic resources (3061 records in total) for determining lemma of a word form in Belarusian language

Словаформа Wordform	Лема Lemma	Граматычны шаблон Grammar template
азначэнні	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Accusative+Common+Inanimate+ +Neuter+Plural
азначэнні	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Common+Inanimate+Neuter+ +Nominative+Plural
азначэнні	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Common+Inanimate+Neuter+ +Prepositional
...		
азначэнне	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Accusative+Common+Inanimate+ +Neuter
азначэнняў	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Common+Genitive+Inanimate+ +Neuter+Plural
азначэнням	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Common+Dative+Inanimate+ +Neuter+Plural
азначэннямі	азначэнне	NOUN+FLX=АБАБІВАННЕ+Common+Inanimate+Instrumental+ +Neuter+Plural
...	...	...

Да ўніверсальнага аналізатара паведамленняў былі дададзены ўсе тэрміны базы ведаў па геаметрыі, а таксама абазначаны адпаведныя сувязі між лемамі семантычна аднолькавых слоў на розных мовах. Ніжэй прыведзены фрагменты дадзенай базы ведаў.

Ключавыя вузлы базы ведаў:

...
разбіццё
сцвярджэнне вызначальнага тыпу
дамен
надмноства
вобласць азначэння
азначэнне
асноўны
бісектрыса
...

Спісы адпаведных слоў:

...
//# \$syn3652={};
//# \$syn3652=c="/"цэнтр*"/;
//#"LANG","STRING", "con(цэнтр*)"->\$syn3652;
...
//# \$syn3667={};
//# \$syn3667=c="/"цэнтральны вугал*"/;
//# "LANG", "STRING", "con(цэнтральны вугал*)"-
>\$syn3667;
...

Падчас распрацоўкі кампанента маўленчага ўводу інфармацыі на аснове пакета НТК (The Hidden Markov Model Toolkit; URL: <http://htk.eng.cam.ac.uk>) адной з найбольш значных задач з'яўляўся выбар прыдатнай тэхналогіі і методыкі для стварэння модуля распазнавання

звязанага рускага і беларускага маўлення ў мэтах забеспячэння выкарыстання галасавога ўводу для рэалізацыі запытаў да баз ведаў. Пры гэтым акцэнт ставіўся на распрацоўку адносна менавіта аўтаномнага кампанента, які мог бы быць скарыстаны распрацоўшчыкам без высокай кваліфікацыі ў сферы апрацоўкі сігналаў ці распазнавання маўлення. Такая падсістэма павінна стаць часткай праекту OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems; URL: <http://proc.ostis.net/by/main.html>).

Магчымасць распазнавання беларускага маўлення з'яўляецца вельмі актуальнай праблемай з-за малой колькасці аналагаў. Па розным прычынам мала ўвагі надаецца ўключэнню беларускай мовы ў інтэрфейсы мноства лічбавых прылад. Аднак аўтары не сумняваюцца ў неабходнасці развіцця беларускамоўных спосабаў узаемадзеяння і ажыццяўляюць пэўныя крокі ў гэтым накірунку.

Самым трывіяльным падыходам да пабудовы мультылінгвістычных сістэм з'яўляецца стварэнне асобных набораў акустычных і моўных мадэляў для кожнай мовы. Пры распазнаванні запускаюцца некалькі моўных дэкодераў адначасова. Фраза з найбольшай верагоднасцю выдаецца як вынік працы распазнавальніка. Такі падыход просты ў рэалізацыі. Аднак праблемы ўзнікаюць, калі ў сістэму неабходна ўключыць новую мову, для якой няма дастатковай колькасці навучальных дадзеных.

Паводле альтэрнатыўнай тэхнікі можна вылучыць шэраг фанем ці іншых моўных элементаў у якасці агульных для некалькіх моў. Такі падыход дазваляе больш рацыянальна выкарыстоўваць навучальны корпус, аднак у той жа час ён звязаны з цяжкасцямі ў аналізе падабенстваў паміж некалькімі мовамі [1].

Праблема пашырэння дадзенай сістэмы беларускай мовай вырашаецца праз выкарыстанне першага апісанага падыходу ў якасці пачатковага набліжэння для далейшага памяншэння лішкавасці.

Тэорыя схаваных маркаўскіх мадэляў (СММ) была абрана ў якасці метадалагічнай асновы для стварэння модуля распазнавання маўленчых запытаў. У якасці набору прылад, які рэалізуе ўсе асноўныя функцыі і алгарытмы СММ, быў скарыстаны пакет НТК.

Тэставыя дыялогі для інтэрфейсу семантычных баз ведаў. Пры стварэнні прататыпа маўленчага інтэрфейсу для ажыццяўлення рознага роду запытаў да семантычных баз ведаў былі абраны наборы тэставых фраз карыстальніка да сістэмы з мэтай выбару неабходных у зносінах слоў і фраз для наступнага стварэння СММ з адпаведнымі параметрамі. У якасці прыкладу прывядзем наступныя дыялогі.

На беларускай мове

Пытанне: Якія сінонімы існуюць у паняцця квадрат?

Адказ: Сінонімы паняцця квадрат: роўнабаковы прамавугольнік, прамавугольны ромб.

На рускай мове

Пытанне: Какие синонимы существуют у понятия квадрат?

Адказ: Синонимы понятия квадрат: равносторонний прямоугольник, прямоугольный ромб.

Варта адзначыць, што фразы выбіраліся па наступнаму крытэрыю: словы, якія ўваходзяць у запыты, павінны складацца па магчымасці з найбольшай колькасці гукаў, каб павялічыць якасць распазнавання.

Выбар спосабу падрыхтоўкі дадзеных для стварэння мадэляў. У якасці варыянтаў як для рускамоўнага, так і для беларускамоўнага распазнавальнікаў разглядаліся: манафонныя сістэмы без разметкі навучальных дадзеных і з разметкай навучальных дадзеных; сістэмы на аснове звязаных трыфонаў, дзе навучанне праводзілася без разметкі навучальных дадзеных. Крытэрыем для параўнання выступалі сярэдні час распазнавання на адзін фрэйм, дакладнасць распазнавання па фразах, а таксама дакладнасць распазнавання па асобных словах. Навучанне ажыццяўлялася на аднолькавым абмежаваным наборе з 71 фразы на рускай мове (на працягу 485,7 с гучання) і 71 фразы (406,4 с гучання) для беларускай мовы, якія змяшчаюць у дадатку 291 і 302 словы адпаведна. Вынікі прадстаўлены ў зборнай табл. 2 для абедзвюх моў.

На аснове вышэй прыведзенай інфармацыі выбар быў зроблены на карысць сістэмы на аснове манафонаў, для стварэння якой выкарыстоўваліся дадзеныя, размечаныя ўручную. Вырашальным фактарам стаў высокі ўзровень (свыш 90 %) і прымальны час распазнавання па фразам (табл. 2). Такія вынікі можна растлумачыць наступным чынам: зыходзячы з умовы абмежаванасці слоўніка і магчымых паслядоўнасцяў слоў, мэтазгоднай выглядае разметка абмежаванай колькасці навучальных файлаў уручную. Між тым пры наяўнасці вялікай колькасці навучальных дадзеных цалкам дапушчальным выглядае будучы пераход на аўтаматычную разметку з выкарыстаннем звязаных трыфонаў.

Табліца 2. Ацэнка характарыстык сістэм распазнавання

Table 2. Evaluation of the characteristics of recognition systems

Сістэма распазнавання	Сярэдні час распазнавання на адзін фрэйм, с/фрэйм Average recognition time per frame, s / frame	Дакладнасць распазнавання фраз, % Phrase recognition accuracy, %	Дакладнасць распазнавання слоў, % Accuracy of word recognition, %
<i>Беларуская мова</i>			
На аснове манафонаў (навучанне без разметкі дадзеных)	0,000 389 378 380	93,00	96,80
На аснове звязаных трыфонаў (навучанне без разметкі дадзеных)	0,000 459 622 045	96,00	98,58
На аснове манафонаў (навучанне з разметкай дадзеных)	0,000 370 541 410	97,50	98,82
<i>Руская мова</i>			
На аснове манафонаў (навучанне без разметкі дадзеных)	0,000 423 419 651	82,00	91,49
На аснове звязаных трыфонаў (навучанне без разметкі дадзеных)	0,000 496 022 965	79,50	90,04
На аснове манафонаў (навучанне з разметкай дадзеных)	0,000 396 626 995	99,00	99,51

Алгарытм стварэння сістэмы СММ для распазнавання маўлення. Поўны цыкл стварэння добра навучаных СММ уключае два асноўныя этапы: падрыхтоўку дадзеных для навучання і непасрэдна саманавучанне (мал. 2).

Падрыхтоўка дадзеных:

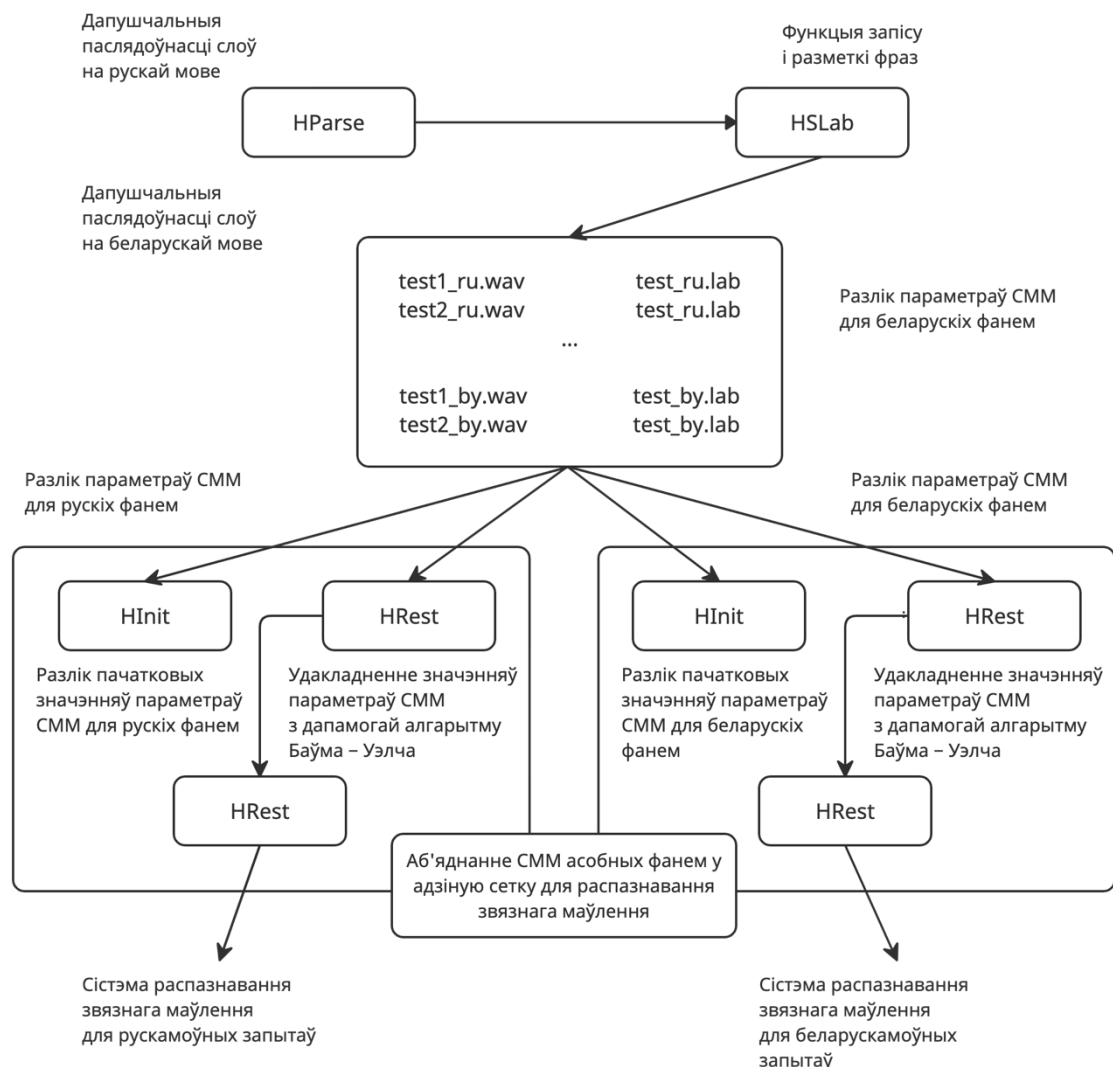
Крок 1. Стварэнне граматыкі кожнага тыпу. Граматыка ў дадзеным выпадку ўяўляе сабою сетку, якая ўключае строгія паслядоўнасці слоў, дапушчальных для распазнавання.

Крок 2. Спускаючыся ніжэй па іерархіі ад фраз да асобных слоў, быў створаны ўпарадкаваны слоўнік, у які ўваходзяць словы з запятам. Закрывы слоўнік дае магчымасць стварэння ўнікальнай фанетычнай транскрыпцыі, якая адаптавана для пэўнага дыктара і ўлічвае рэгіянальныя асаблівасці вымаўлення некаторых слоў рускай і беларускай моў. Асабліва гэта датычыцца спецыфічных гукаў, характэрных выключна для беларускай мовы: *дз, дж, ць* і г. д.

Крок 3. Запіс дадзеных. Ажыццяўляецца стварэнне набору файлаў фармату wav, якія ўтрымліваюць некалькі варыянтаў (не менш за трох) запісаў базавых слоў, вымаўленых дыктарам. У якасці прыстасавання выкарыстана функцыя HSLab з пакета НТК, якая дазваляе не толькі запісваць дадзеныя, але і пазначаць у іх фанемы, якія змяшчаюцца. Усяго для навучання выкарыстоўвалася 113 фраз, якія складаюцца ў суме з 613 слоў.

Крок 4. Кадаванне дадзеных. Фінальным крокам у падрыхтоўцы дадзеных з'яўляецца апрацоўка маўленчых сігналаў і пераўтварэнне іх у паслядоўнасці вектараў прыкмет. У дадзенай працы ў якасці такіх вектараў былі выкарыстаны мел-частотныя кепстральныя каэфіцыенты [3, 10].

Крок 5. Стварэнне пачатковых манафонаў. З гэтага моманту пачынаецца стварэнне набору навучаных СММ, эмісійныя верагоднасці ў якіх апісваюцца сумессю шчыльнасцяў размеркавання гаўсавых выпадковых велічынь [4].



Мал. 2. Алгарытм стварэння набору СММ для распазнавання запытаў на рускай і беларускай мовах

Fig. 2. Algorithm for creating a set of Hidden Markov Models for query recognition in Russian and Belarusian

Першым крокам у стварэнні сістэмы СММ з'яўляецца вызначэнне мадэлі прататыпа. Для сістэмы, заснаванай на фанемах, добрай тапалогіяй з'яўляецца левая-правая схема з трыма станамі [5]. Пачатковыя значэнні для мадэлі кожнай фанемы разлічваліся на падставе навучальных дадзеных з дапамогай алгарытму Вітэрбі [6]. Праграмны сродак тут прадстаўлены функцыяй HInit.

Крок 7. Пералік каэфіцыентаў манафонаў. Параметр мадэлі кожнай фанемы пералічваецца па метадазе Баўма – Уэлча (алгарытму прамога зваротнага ходу, ці алгарытму максімізацыі праўдападобнасці) [5]. Пералік вырабляецца з дапамогай функцыі HRest.

Крок 8. Стварэнне сістэмы СММ для распазнавання фраз. Апошнім крокам з'яўляецца карэктыроўка параметраў мадэляў фанем, але ўжо не па асобку, а ў звязку адзін з адным у кантэксце як асобных слоў, так і цэлых сказаў. Такая інтэграваная сістэма ствараецца функцыяй HRest.

Ключавыя асаблівасці кампанента маўленчага ўводу. Вынікам працы стала стварэнне модуля распазнавання маўлення для ажыццяўлення галасавых запытаў да інтэлектуальнай базы ведаў. Гэта было дасягнута праз рашэнне наступных падзадач:

- выбар спосабу рэалізацыі сістэмы з улікам патрабаванняў да дакладнасці і часу распазнавання;

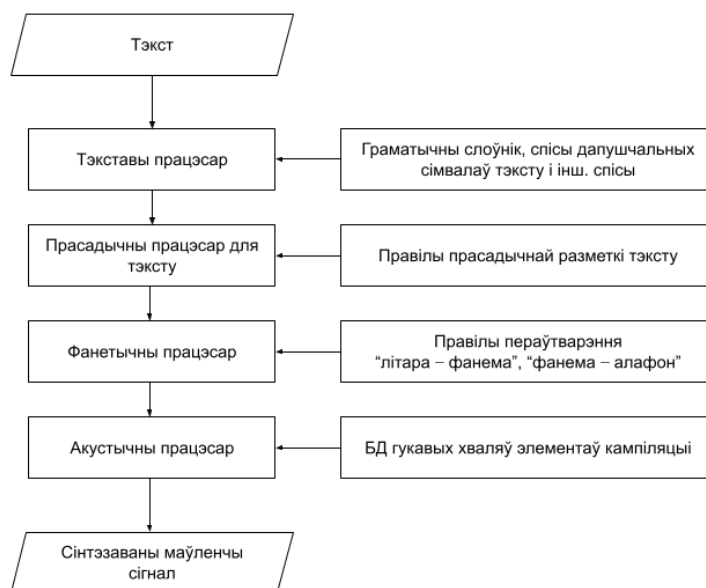
- стварэнне прататыпа модуля, які здольны з высокай дакладнасцю распазнаваць шырокі спектр запытаў да базы ведаў па геаметрыі. Пры гэтым у модулі была рэалізавана двухмоўнасць, якая дазваляе рабіць вусныя запыты на рускай і беларускай мовах;

- выпрацоўку метадыкі стварэння модуля распазнавання як для рускамоўных, так і для беларускамоўных фраз. Метадыка можа быць выкарыстана распрацоўшчыкам, які не з'яўляецца спецыялістам у сферы маўленчых тэхналогій, для стварэння модуля распазнавання запытаў да баз ведаў у любых іншых сферах (апроч геаметрыі).

Акрамя таго, дзякуючы значнай доле (%) працяглых галосных у беларускай мове, патэнцыйна сістэмы распазнавання фраз беларускай мовы валодаюць большай дакладнасцю распазнавання пры іншых роўных умовах.

Распрацоўка кампанента маўленчага вываду інфармацыі на аснове сінтэзатара беларускай і рускай моў. Для пераводу тэкставай інфармацыі ў маўленчую з пытальна-адказнай сістэмы выкарыстоўваюцца два кампаненты, заснаваныя на сінтэзатары маўлення па тэксце на беларускай [8] ці рускай [9] мове. Дадзеныя кампаненты рэалізуюцца ў якасці знешніх падключальных модуляў. У выніку такога падключэння сінтэзатараў маўлення па тэксце да сістэмы карыстальнік атрымлівае агучаны маўленчы адказ. Такім чынам, сістэма натуральна-маўленчага інтэрфейсу становіцца яшчэ больш натуральнай для карыстальніка.

Сінтэз вуснага маўлення па тэксце ажыццяўляецца на аснове лексіка-граматычнага аналізу ўваходнага тэксту шляхам мадэлявання працэсаў моваўтварэння з улікам правіл вымаўлення гукаў і інтанавання для кожнай мовы. Арфаграфічны тэкст паступае на ўваход сінтэзатара і далей падвяргаецца паслядоўнай апрацоўцы спецыялізаванымі працэсарамі-модулямі ў адпаведнасці з агульнай структурай сінтэзатара маўлення па тэксце (мал. 3). Сінтэзатар уключае наступныя модулі: тэкставы працэсар, прасадычны працэсар тэксту і сігналу, фанетычны і акустычны працэсары. Кожны з гэтых модуляў падтрымліваецца спецыяльнымі наборы адпаведных баз дадзеных і правілаў, распрацаваных для беларускай і рускай моў.



Мал. 3. Агульная мованезалежная структура сістэмы сінтэзу маўлення па тэксце
Fig.3. General language-independent structure of the system of speech-to-text synthesis

Уваходны арфаграфічны тэкст падвяргаецца шэрагу паслядоўных апрацовак у кожным з працэсараў. Тэкставы працэсар апрацоўвае ўваходны арфаграфічны тэкст у наступнай паслядоўнасці: ачыстка тэксту, пераўтварэнне знакаў (абрэвіятур, скарачэнняў, лікаў і інш.), расстаноўка слоўных націскаў і граматычных прыкмет словаформаў.

Ператвораны тэкст паступае на ўваходы прасадыхнага працэсару тэксту, а затым – фанетычнага працэсару. У выніку працы прасадыхнага працэсара тэкст падзяляецца на сінтагмы, акцэнтныя адзінкі і элементы акцэнтных адзінак: інтанацыйнае перад’ядро, ядро і заядро. Фанетычны працэсар ажыццяўляе пераўтварэнне паслядоўнасці літар, з якіх сінтагма складаецца ў паслядоўнасць фанем і алафонаў. І нарэшце прасадыхны працэсар для моўнага сігнала ўстанаўлівае ў адпаведнасці з базай дадзеных прасадыхных «партрэтаў» сінтагмаў значнасці амплітуды, працягласці фанем і частот асноўнага тону для кожнага элемента акцэнтных адзінак.

Акустычны працэсар на аснове інфармацыі пра тое, якія неабходна сінтэзаваць алафоны і якія прасадыхныя характарыстыкі павінны быць прыпісаны кожнаму алафону, генеруе маўленчы сігнал шляхам кампіляцыі адрэзкаў натуральных гукавых хваль адпаведных алафонаў і мультыфонаў. У выніку ўваходны тэкст пераўтвораецца ў маўленчы сігнал.

Такім чынам, спраектаваная архітэктур дазваляе маштабаваць і папярняць сінтэзатар маўлення па тэксце для рускага і беларускага маўленняў з высокай ступенню лінгвістычнага разумення ўваходнага тэксту і генерацыяй маўлення для самага шырокага круга спажыўцоў.

Інтанацыйная разметка тэксту. Прасодыка адыгрывае важную ролю як пры ўспрыманні сэнсу, так і пры ўспрыманні індывідуальнасці голасу і мовы дыктара. Таму прасадыхная мадэль, якая выкарыстоўваецца пры сінтэзе маўлення па тэксце, павінна адэкватна адлюстроўваць як мовазалежныя, так і дыктаразалежныя характарыстыкі.

У фанетыцы і філасофіі маўлення словазлучэнне лічыцца адносна незалежнай адзінкай маўленчай інтанацыі. Незалежнасць інтанацыі праяўляецца ў артыкуляцыі, семантычнай і сінтаксічнай уласцівасцях лінгвістычных адзінак, а таксама ў якасці іншых праяўленняў, якія дазваляюць вылучыць асобны набор слоў з патоку маўлення. Любы пунктуацыйны знак можа падзяляць тэкст на асобныя часткі. Але вельмі часта колькасць незалежных адзінак маўленчай інтанацыі можа быць болей за колькасць знакаў пунктуацыі. Звычайна словазлучэнне – гэта камбінацыя ад двух да пяці слоў, больш часта складаецца з трох слоў.

Дакладнае месца падзелу маўлення на словазлучэнні вызначаецца аптымальным задавальненнем семантыка-сінтаксічных, фанетычных і фізіялагічных патрабаванняў.

Першае з названых патрабаванняў прадугледжвае аб’яднанне ўнутры фразы семантычна звязаных слоў, якія, у сваю чаргу, нельга падзяліць на дзве фразы. Другое патрабаванне – тэндэнцыю ператварэння моўных фанетычных сістэм у пэўную рытмічную канструкцыю (напрыклад, група з двух-трох слоў, аб’яднаных у адну фразу), а трэцяе – утварэнне фразы з колькасцю слоў, якія магчыма вымавіць на працягу аднаго подыху.

Наступным этапам інтанацыйнага аналізу маўлення з’яўляецца вызначэнне тыпу словазлучэння (<PHRASE TYPE>). Да асноўных тыпаў інтанацыйных фраз адносяцца: завершаныя (P) і няскончаныя (C) фразы, спецыяльныя і агульныя пытанні (Q), клічныя фразы (E) і іх падтыпы, пазначаныя індэксамі 1 – n.

Прыклад інтанацыйнай разметкі тэксту:

```
<PHRASE TYPE="C1">Амаль забылася</PHRASE> і <PHRASE
TYPE="C7">здарэнне з лазняй</PHRASE>, а <PHRASE TYPE="C1"> потым
</PHRASE> і <PHRASE TYPE="P4">лазню злізаў Дняпро</PHRASE>.
<PHRASE TYPE="C7">Быццам і не было ні людзей</PHRASE>, ні
<PHRASE TYPE="P4">закуранай нізкай будыніны на беразе</PHRASE>.
```

Кожнае словазлучэнне ў сказе анатавана інтанацыйным індэксам, дзе C1 – незавершанае словазлучэнне, якое знаходзіцца перад злучнікамі i; C7 – незавершанае словазлучэнне, якое стаіць перад коскай; P4 – завершанае словазлучэнне напрыканцы сказа.

Пры анатаванні словазлучэння інтанацыйнай меткай улічваецца не толькі пунктуацыя, а таксама і найбліжэйшы кантэкст. Напрыклад, інтанацыйны тып Q12 суадносіцца з паслядоўнасцю тыпаў, тып Q11 – з пыталымі словазлучэннямі, якія маюць у сваім складзе пыталыя словы:

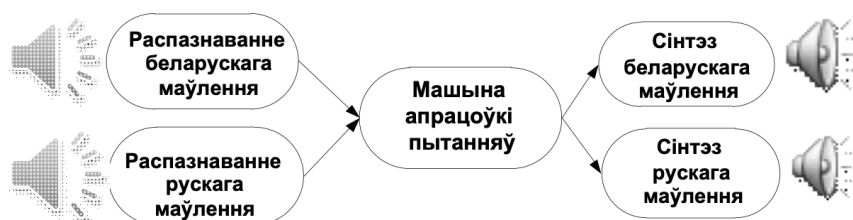
<PHRASE TYPE="Q11">Як так атрымалася</PHRASE>?

<PHRASE TYPE="Q12">Чаму ты мне нічога не сказаў</PHRASE>?

Колькасць інтанацыйных падтыпаў асноўных тыпаў інтанацыйных фраз можа дасягаць некалькіх дзясяткаў. Задача вызначэння інтанацыйнага падтыпу дасягаецца аналізам двух фактараў: месцазнаходжання фразы ў тэксце і яго сэнсавага значэння. Першы фактар, пазіцыя ў тэксце, вызначаецца аналізам месцазнаходжання фразы ў адносінах да бліжэйшага знака прыпынку. Напрыклад: знак прыпынку напачатку ці напрыканцы тэксту, становішча словазлучэння да знака прыпынку ці пасля, а таксама тып знакаў прыпынку ў сказе. Другі фактар, менавіта сэнсавое значэнне словазлучэння, вызначаецца на аснове непасрэднага значэння фразы і выдзялення лагічнага інтанацыйнага цэнтру. У прыватнасці, трэба вызначыць, ці адлюстроўвае фраза намеры, тлумачэнні, наступныя пытанні і г. д. Канчатковая ідэнтыфікацыя інтанацыйнага тыпу і падтыпу фразы робіцца з улікам абодвух фактараў [11].

Сэрвіс «Інтанацыйны працэсар» дазваляе карыстальніку ў рэжыме анлайн разбіць тэкст на адмысловыя адзінкі (словазлучэнні). На ўваход сэрвісу даецца тэкст на беларускай ці рускай мове, на выхадзе карыстальнік атрымлівае спіс словазлучэнняў.

Двухмоўная пытална-адказная дыялогавая сістэма. Структура эксперыментальнай сістэмы натуральна-маўленчых інтэрфейсаў, якая знаходзіцца на этапе распрацоўкі, прыведзена на мал. 4 [7]. Яна ўспрымае галасавыя пытанні на беларускай ці рускай мове, апрацоўвае ў адпаведны тэкст. З дапамогай машыны апрацоўкі пытанняў генеруецца тэкставае паведамленне, па якім у выніку сінтэзуецца маўленне-адказ.



Мал. 4. Функцыянальная схема двухмоўнай пытална-адказнай дыялогавай сістэмы

Fig. 4. Functional diagram of a bilingual question-answering dialogue system

Эксперыментальная мадэль сістэмы была распрацавана для тэмы «геаметрыя». Прывядзём прыклады пытанняў-запытаў карыстальніка да сістэмы і паведамленняў, якія былі згенераваны яму ў адказ.

Па-беларуску

Пытанне-запыт: Вывесці поўнае сямантычнае наваколле паняцця квадрат.

Адказ (фрагмент): Для паняцця квадрат існуюць наступныя сінонімы: правільны шматвугольнік з чатырма бакамі, клас квадратаў, правільны прамавугольнік, квадрат. Для паняцця квадрат існуюць адносіны: мяжа*, дыяганаль*, вяршыня*, перыметр*, плошча*, бісектрыса*, вобласць якіх дакладна перасякаецца з гэтым мноствам (квадрат)...

Па-руску

Пытанне-запыт: Вывести разбиение понятия четырехугольник.

Адказ: Понятие четырехугольник разбивается на понятие квадрат, понятие прямоугольник, понятие ромб, понятие трапеция.

Такім чынам, распрацаваная эксперыментальная двухмоўная дыялогавая сістэма дае карыстальніку магчымасць вусна задаваць пытанне і чуць адказ на пажаданай для карыстальніка мове, а не проста ўводзіць пытанне праз клавіятуру і чытаць адказ з экрана камп'ютара. Гэта робіць інтэрфейс сістэмы больш зручным.

Даследаванне натуральна-маўленчых інтэрфейсаў. Выкарыстанне натуральнай мовы для арганізацыі дыялогу карыстальніка з камп'ютарнай сістэмай у агульным выпадку звязана з шэрагам праблем: неадназначнасцю натуральнай мовы, неадпаведнасцю магчымасцяў рэалізацыі натуральна-маўленчага інтэрфейсу спадзяванням карыстальніка і інш.

Для натуральна-маўленчага карыстальніцкага інтэрфейсу пытальна-адказных сістэм магчыма выкарыстанне абмежаванай натуральнай мовы без сур'ёзнай шкоды іх функцыянальнасці. Дзякуючы выкарыстанню абмеркаваных лексічных і граматычных абмежаванняў, прынятых з улікам абмежавання 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-маўленчым інтэрфейсам, можа мець завышаныя ці зніжаныя 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 пабудове карыстальніцкіх інтэрфейсаў з выкарыстаннем натуральнай мовы ў распрацоўшчыкаў пераважае жаданне максімальна наблізіць інтэрфейс да запатрабаванняў непадрыхтаванага карыстальніка. Гэта некалькі падымае планку патрабаванняў да ступені прыязнасці і надзейнасці (безадмоўнасці) натуральна-маўленчых карыстальніцкіх інтэрфейсаў, паколькі карыстальнік, упершыню сутыкнуўшыся з сістэмай, якая «разуме» натуральную мову, слаба ўяўляе рэальныя магчымасці такой сістэмы. Пры гэтым яго спадзяванні да ступені разумення натуральнай мовы могуць адрознівацца ад рэальных здольнасцяў сістэмы ў абодва бакі. Карыстальнік можа спытаць у сістэмы пра тое, чаго яна «не ведае», а можа па звычцы выкарыстаць найпростыя фармулёўкі запытаў.

Для рашэння пазначанай вышэй праблемы на пачатковых этапах развіцця натуральна-моўнага інтэрфейсу можа быць выкарыстана спецыяльна прадугледжаная зваротная сувязь з карыстальнікам. У межах такой зваротнай сувязі карыстальніку, які задае пытанне сістэме, падаецца магчымасць бачыць вынік разбору гэтага запыту і яго ўяўленне на фармальнай мове. Такім чынам, карыстальнік метадам спроб і памылак падчас работы з пытальна-адказнай сістэмай можа прыстасавання (навучыцца) больш эфектыўна выкарыстоўваць усе магчымасці натуральна-маўленчага інтэрфейсу. У якасці мэтавай фармальнай семантычнай мовы выкарыстоўваецца спецыялізаваная прадметнезалежная мова пытанняў. Такая мова пытанняў валодае большай семантычнай магутнасцю ў параўнанні з мовамі запытаў да баз дадзеных і ведаў, што спрашчае аналіз натуральна-маўленчых карыстальніцкіх запытаў.

Семантычная (сэнсавая) неадназначнасць натуральна-маўленчага 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 маюцца ў прадметнай базе ведаў адпаведныя словы натуральнай мовы. Такім чынам складаецца першасная сувязь прадметных і лінгвістычных ведаў. Пабудова больш разгорнутых сувязяў з'яўляецца задачай распрацоўшчыка лінгвістычнай базы ведаў пэўнай пытальна-адказнай сістэмы для вызначанай прадметнай вобласці.

Заклучэнне. Прадстаўленая мадэль кампанентнага праектавання натуральна-маўленчых карыстальніцкіх інтэрфейсаў дае аснову для аналізу натуральна-маўленчых тэкстаў, пачынаючы з уводу тэксту, марфалагічнага, сінтаксічнага і семантычнага аналізу, а таксама генерацыі тэксту. Кампаненты сістэмы распазнавання і сінтэзу маўлення па тэксце даюць канчатковаму карыстальніку магчымасць вусна задаваць пытанне і чуць адказ на яго ад сістэмы, а не проста ўводзіць пытанне праз клавіятуру і чытаць адказ з экрана камп'ютара. Магчымасць інтэграцыі іншых распрацовак і праектаў (у якасці знешніх кампанентаў) дазваляе

рабіць інтэграцыю розных падыходаў і метадаў у рамках аднаго праекта, эфектыўна выкарыстоўваць іх лепшыя бакі.

Мадэль двухмоўнай пытальна-адказнай сістэмы можа быць пашырана да выкарыстання большага набору моў.

Уклад аўтараў. Ю. С. Гецэвіч – распрацоўка дызайну аглядна-аналітычнага даследавання. Аналіз і інтэрпрэтацыя вынікаў працы, зацвярджэнне канчатковага варыянту артыкула для публікацыі. Д. А. Дзенісюк – камп’ютарнае мадэляванне канцэпцыі інтэрфейсаў, збор і сістэматызацыя дадзеных. С. А. Гецэвіч – аналіз і абагульненне дадзеных літаратуры, напісанне тэксту і крытычны перагляд яго зместу. Л. І. Кайгародава – збор і сістэматызацыя дадзеных, абгрунтаванне канцэпцыі даследавання, правядзенне параўнальнага аналізу, абагульненне і інтэрпрэтацыя вынікаў даследавання. К. А. Нікалаенка – распрацоўка дызайну эксперыментальнага даследавання, камп’ютарнае мадэляванне канцэпцыі інтэрфейсаў.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Current trends in multilingual speech processing / H. Bourlard, J. Dines, M. Mathew-Doss, P. Garner, D. Imseng, ..., F. Valente // *Indian Academy of Science*. – 2011. – Vol. 36, part 5. – P. 885–915.
2. Landauer T. K. Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: Breadth, depth, and width / T. K. Landauer, D. W. Nachbar // *CHI '85 Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*. – N. Y. : ACM, 1985. – Vol. 16, iss. 4. – P. 73–78.
3. Oppenheim, A. V. From frequency to quefrancy: A history of the cepstrum / A. V. Oppenheim, R. W. Schafer // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2004. – Vol. 21. – P. 95–106.
4. Rabiner, L. A. Tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech / L. A. Rabiner // *Proc. of the IEEE*. – 1988. – Vol. 77, iss. 2. – P. 257–286.
5. Бовбель, Е. И. Скрытые марковские модели и машины на опорных векторах: от теории к практике : пособие для студентов естественно-научных специальностей / Е. И. Бовбель, И. Э. Хейдоров, Ю. В. Пачковский. – Минск : БГУ, 2007. – 131 с.
6. Бовбель, Е. И. Статистические методы распознавания речи: скрытые марковские модели / Е. И. Бовбель, И. Э. Хейдоров // *Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной электроники*. – 1998. – № 3. – С. 36–54.
7. Семантическая технология проектирования белорусско- и русскоязычных ЕЯ-интерфейсов вопросно-ответных систем / С. А. Гецевич [и др.] // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2012) : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 февр. 2012 г. / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 401–412.*
8. Гецевич, Ю. С. Система синтеза белорусской речи по тексту / Ю. С. Гецевич, Б. М. Лобанов // *Речевые технологии*. – 2010. – № 1. – С. 91–100.
9. Лобанов, Б. М. Компьютерный синтез и клонирование речи / Б. М. Лобанов, Л. И. Цирульник. – Минск : Беларус. навука, 2008. – 342 с.
10. Оппенгейм, А. В. Цифровая обработка сигналов / А. В. Оппенгейм, Р. В. Шафер. – М. : Связь, 1979. – 416 с.
11. Лобанов, Б. М. Компьютерная система анализа и интерпретации интонации речи / Б. М. Лобанов, В. А. Житко, Ю. А. Здоронок // *Междунар. конгресс по информатике: информационные системы и технологии = International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies / под ред. С. В. Абламейко. – Минск : БГУ, 2016. – P. 589–594.*

References

1. Bourlard H., Dines J., Mathew-Doss M., Garner P., Imseng D., Motlicek P., Liang H., Saheer L., Valente F. Current trends in multilingual speech processing. *Indian Academy of Science*, 2011, vol. 36, part 5, pp. 885–915.
2. Landauer T. K., Nachbar D. W. Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: Breadth, depth, and width. *CHI '85 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, ACM, 1985, vol. 16, iss. 4, pp. 73–78.
3. Oppenheim A. V., Schafer R. W. From frequency to quefrancy: A history of the cepstrum. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2004, vol. 21, pp. 95–106.

4. Rabiner L. A. Tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech. *Proceedings of the IEEE*, 1988, vol. 77, iss. 2, pp. 257–286.
5. Bovbel E. I., Heidorov I. E., Pachkovsky Y. V. Skrytye markovskie modeli i mashiny na opornyx vektorax: ot teorii k praktike : posobie dlya studentov estestvenno-nauchnykh specialnostej. *Hidden Markov Models and Support Vector Machines: From Theory to Practice: A Handbook for Science Students*. Minsk, BSU, 2007, 131 p. (In Russ.).
6. Bovbel E. I., Heidorov I. E. *Statistical speech recognition techniques: hidden Markov models*. Zarubezhnaya radioelektronika. Uspexi sovremennoj elektroniki [Foreign Radio Electronics. Advances in Modern Electronics], 1998, no. 3, pp. 36–54 (In Russ.).
7. Hetsevich S. A., Hetsevich Y. S., Eliseeva O. E., Zhitko V. A., Kuzmin A. A. Semantic technology for designing Belarusian- and Russian-language NL-interfaces of question-answer systems. Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem : materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Minsk, 16–18 fevralja 2012 g. Redkollegija : V. V. Golenkov (otvetstvennyj redaktor) [i dr.]. [Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS–2012) : Materials of the II International Scientific and Technical Conference, Minsk, 16–18 February 2012. In V. V. Golenkov (ed.) [et al.]]. Minsk, Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radioelektroniki, 2012, pp. 401–412 (In Russ.).
8. Hetsevich Y. S., Lobanov B. M. System for the synthesis of Belarusian speech by text. Rechevye texnologii [Speech Technology], 2010, vol. 1, pp. 91–100 (In Russ.).
9. Lobanov B. M., Cirulnik L. I. Kompyuternyj sintez i klonirovanie rechi. *Computer Synthesis and Cloning of Speech*. Belaruskaya navuka, 2008, 342 p. (In Russ.).
10. Oppenheim A. V., Schaffer R. W. *Digital Signal Processing*. 1st ed. New Jersey, Prentice Hall, 585 p.
11. Lobanov B. M., Zhitko V. A., Zdaranok Y. A. Computer system for analyzing and interpreting speech intonation. Mezhdunarodnyj kongress po informatike: informacionnye sistemy i tehnologii. Pod redakciej S. V. Ablamejko [International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies. In S. V. Ablamejko]. Minsk, Belorusskij gosudarstvennyj universitet, 2016, pp. 589–594.

Інфармацыя пра аўтараў

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

Дзмітры Анатольевіч Дзенісюк, магістр тэхнічных навук.
E-mail: d.denissyuk@gmail.com

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

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

Кірыл Аляксандравіч Нікалаенка, магістр тэхнічных навук.
E-mail: Anak247@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.
E-mail: yuras.hetsevich@gmail.com

Dzmitry A. Dzenisyyuk, M. Sci. (Eng.).
E-mail: d.denissyuk@gmail.com

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

Lesia I. Kaigorodova, M. Sci. (Eng.), Researcher, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus.
E-mail: lesia.piatrouskaya@gmail.com

Kiryl A. Nikalaenka, M. Sci. (Eng.).
E-mail: Anak247@gmail.com