



УДК 004.896,81'322;004.934;004.912

КОМПОНЕНТЫ НАТУРАЛЬНО-РЕЧЕВОГО КОМПЛЕКСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ПРЕПЯТСТВИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Сычѳв В.А. *, Гецевич Ю.С. *, Прокопович Г.А. *

**Объединѳнный институт проблем информатики НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

vsychyov@robotics.by

yury.hetsevich@gmail.com

rprakapovich@robotics.by

Предлагается экспериментальный многокомпонентный комплекс для управления мобильным роботом, предназначенным для функционирования в человеческой среде в автоматическом режиме или под управлением оператора. Компонент распознавания образов работает на основе алгоритма, интерпретирующего данные от двумерного сканирующего дальномера. Компонент диалога подготавливает данные для передачи на озвучивание. Компонент синтеза речи по тексту озвучивает идентифицированные данные и сформированные на их основе сообщения для пользователя. Предложенные алгоритмы реализованы и протестированы на действующем мобильном роботе.

Ключевые слова: дальномер; система управления; автономный мобильный робот; компонент распознавания образов; компонент синтеза речи потексту.

жилых и производственных помещений.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задачи ориентирования автономного мобильного робота в пространстве применяются разнообразие сенсоры, в числе которых энкодеры, акселерометры, гироскопы, дальномеры, видеосенсоры [Каляев, 2007]. Особое место занимают сканирующие дальномеры. Приборы данного типа позволяют получить двумерное или трёхмерное изображение пространства перед роботом на основе данных измерения расстояний до окружающих предметов. Сканирующие дальномеры дают возможность получить важную для ориентирования робота информацию, однако для этого требуется применение соответствующих алгоритмов обработки данных, получаемых в процессе сканирования пространства перед роботом.

Предлагаемый алгоритм позволяет построить систему распознавания геометрических форм объектов, которые можно описать такими примитивами, как окружность или угол, полученные с помощью двумерного сканирующего дальномера (рисунок 1). Предлагаемый алгоритм ориентирован на применение в компонентах системы управления сервисных и бытовых роботов и может быть реализован на базе маломощных микроконтроллеров. Основное назначение подобных роботов – автоматическая уборка и мониторинг

Так как подобные роботы чаще всего функционируют в окружении людей, полезным дополнением к их системе управления является блок синтеза речи, с помощью которого робот может озвучивать свои действия.

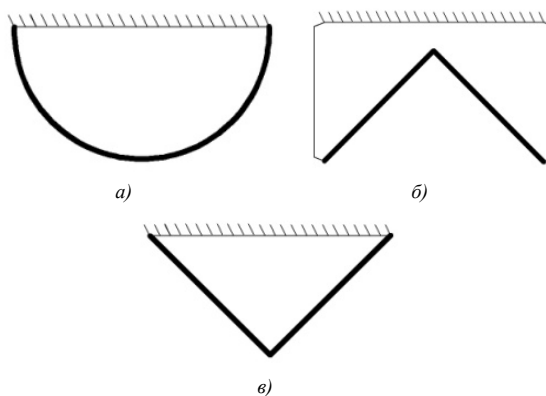


Рисунок 1 – Геометрические примитивы: а) – внешняя окружность, б) – внутренний угол, в) – внешний угол

Блок-схема автономного мобильного робота, построенного с использованием данного алгоритма и с применением блока синтеза речи, приведена на рисунке 2. Для решения задачи распознавания в сенсорных данных, полученных при сканировании пространства перед роботом, приведѳнных выше

примитивов могут быть использованы различные методы и алгоритмы.



Рисунок 2 – Блок-схема системы управления автономного мобильного робота

Среди них выделяются корреляционные методы, аппарат искусственных нейронных сетей [Хайкин, 2006], метод опорных векторов [Vapnik, 1998], использование систем с детерминированным хаосом [Кузнецов, 2006; Дмитриев, 1991; Дмитриев, 2001].

1. Применение систем с детерминированным хаосом для фильтрации и распознавания сигналов

Существует ряд работ, посвящённых использованию систем, демонстрирующих хаотические режимы работы, для фильтрации и распознавания сигналов [Кузнецов, 2006; Дмитриев, 1991; Дмитриев, 2001]. В их основу положен принцип стабилизации динамической системы с помощью обратной связи с задержкой по времени [Schöll, 2008]. В англоязычной литературе для данного метода принято название *DelayedFeedbackControl* (сокращённо *DFC*).

Блок-схема, иллюстрирующая стабилизацию динамической системы с помощью метода *DFC*, приводится на рисунке 3.

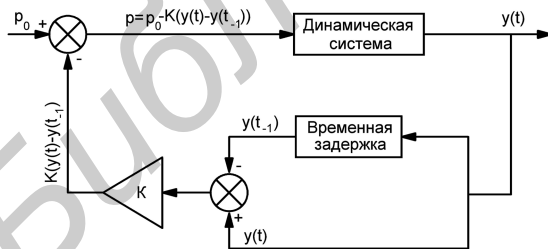
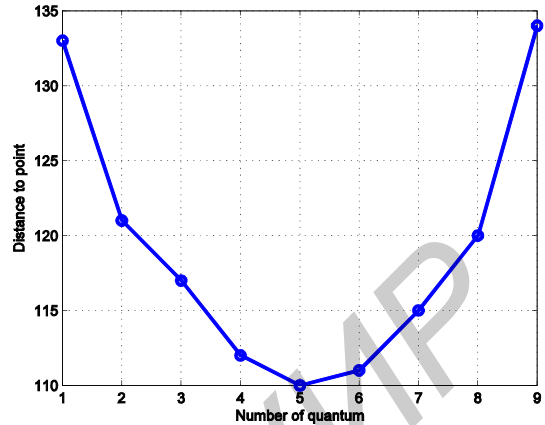


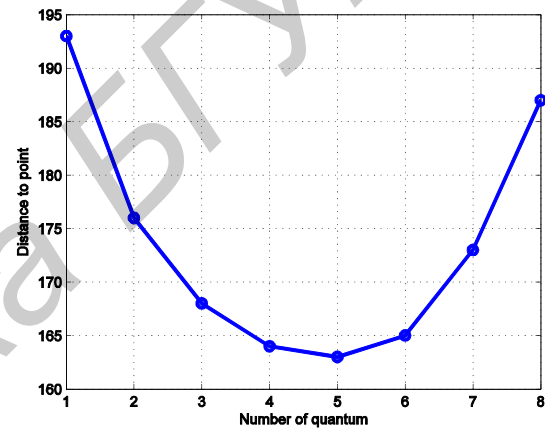
Рисунок 3– Принцип стабилизации динамической системы с помощью отрицательной обратной связи с задержкой по времени (*DelayedFeedbackControl*)

На рисунке 3 приняты следующие обозначения: P_0 – входной сигнал, P – результирующее входное воздействие на динамическую систему, K – линейное усиление, $y(t)$ – выходное состояние динамической системы в текущий момент времени,

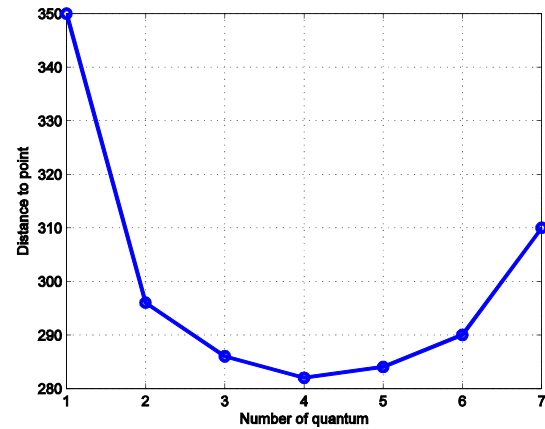
$y(t_{-1})$ – выходное состояние динамической системы в предыдущий момент времени.



а)



б)



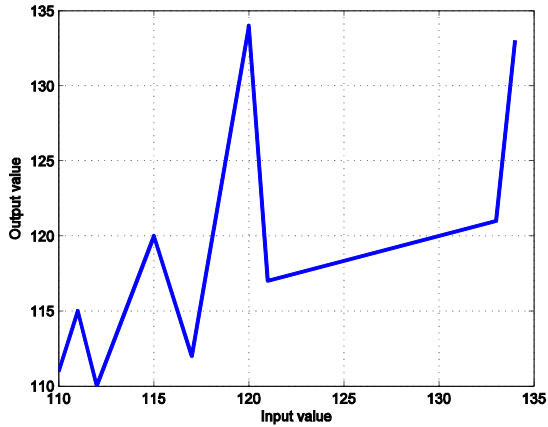
в)

Рисунок 4– Изображение округлой поверхности, полученное с помощью двумерного сканирующего дальномера с расстояния 110 мм (а), 163 мм (б) и 281 мм (в)

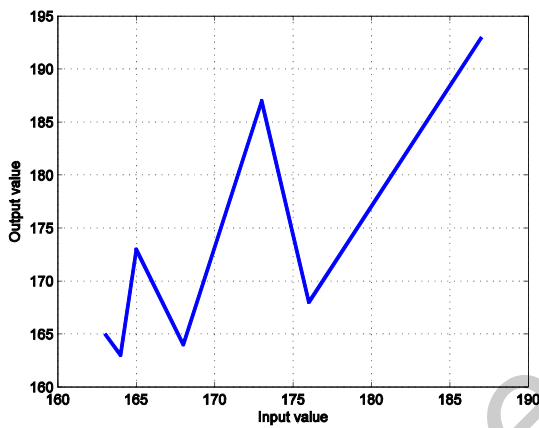
Функционирование блоков суммирования проиллюстрировано знаками «+» и «-».

Результирующее входное воздействие на динамическую систему вычисляется по формуле (1):

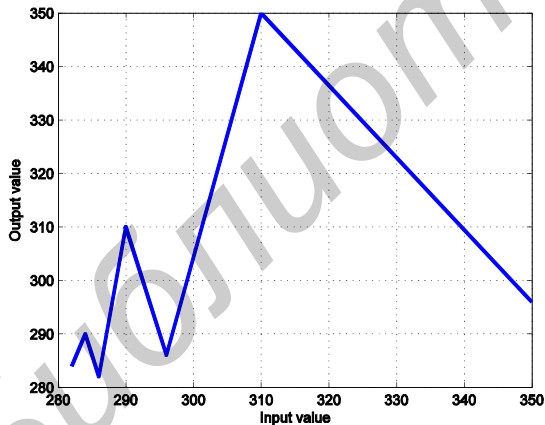
$$p = p_0 - K(y(t) - y(t_{-1})). \quad (1)$$



a)



б)



в)

Рисунок 5 – Варианты передаточной функции динамической системы

Критерием стабильности системы является выполнение условия (2):

$$K(y(t) - y(t_{-1})) = 0. \quad (2)$$

Для того чтобы применить метод DFC при распознавании сигналов, необходимо использовать

динамическую систему с заранее определённой передаточной функцией. Передаточная функция должна подбираться таким образом, чтобы при последовательном вводе значений эталонного сигнала p_0 система стабилизировалась, а при вводе неизвестного сигнала входила в хаотический режим работы. Следовательно, стабилизация системы при распознавании служит признаком того, что множество входных сигналов p_0 относится к некоторому известному множеству.

При практической реализации устройств распознавания или фильтрации сигналов на основе метода DFC используется динамическая система с дискретным временем, переходная характеристика которой реализована с помощью нелинейного усилителя или цифрового сигнального процессора.

Такое устройство может применяться для того, чтобы, к примеру, на сигналах, полученных от двумерного сканирующего дальномера, выделить последовательность сигналов, относящуюся к округлому телу (рисунок 4) или телам другой искомой формы (рисунок 8, а-в).

2. Применение метода DFC для распознавания сигналов двумерного дальномера

Если предположить, что передаточные функции для объектов одного класса будут схожи, и притом значительно отличаться от передаточных функций объектов других классов, то становится возможным реализовать новый способ распознавания. Данный способ основан на анализе передаточной функции нелинейного элемента, при которой динамическая система (рисунок 3) стабилизируется. Таким образом, становится возможным достижение большей универсальности системы распознавания, выраженной в инвариантности к взаимному расположению дальномера и сканируемого тела.

Однако, как видно из рисунка 5, передаточные функции нелинейного элемента, построенные на основе формул 1 и 2, значительно отличаются друг от друга даже для одного и того же объекта – округлого тела, отсканированного дальномером с разным удалением. Вызвано это тем, что при указанном способе формирования передаточной функции система оперирует расстояниями между дальномером и рядом точек исследуемого предмета. Очевидно, что при таком подходе достижение инвариантности к взаимному положению робота и препятствия затруднительно.

Следовательно, необходимо изменить способ формирования передаточной функции динамической системы.

К примеру, для формирования передаточной функции можно установить выходное значение нелинейного элемента, равное $y(t) = p_0$, если $p > 0$, и $y(t) = y(t-1) + p_0$, если $p = 0$.

Блок-схема алгоритма формирования передаточной функции динамической системы на основе описанного выше принципа приведена на рисунке 6.

На блок-схеме (рисунок 6) N – число элементов входного множества p_0 .

Варианты передаточной функции динамической системы, полученной с помощью предложенного алгоритма, показаны на рисунке 7 синим цветом и соответствуют входным сенсорным данным, приведённым на рисунке 4.

При этом передаточные функции нелинейных элементов, полученные для схожих образов, также будут близки по форме. Это даёт возможность заранее выработать и сохранить в памяти системы управления роботом шаблоны передаточных функций нелинейного элемента для каждого из примитивов, показанных на рисунке 1.

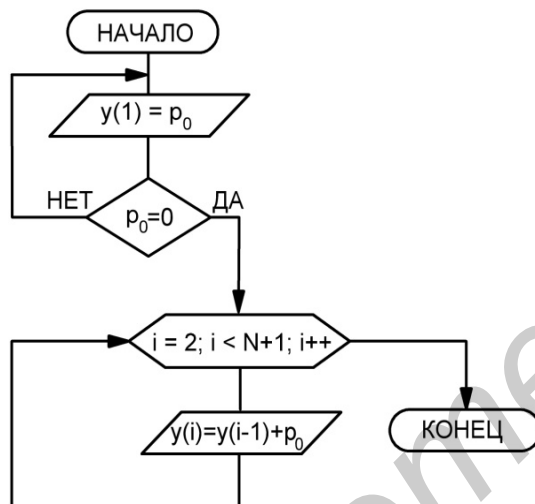
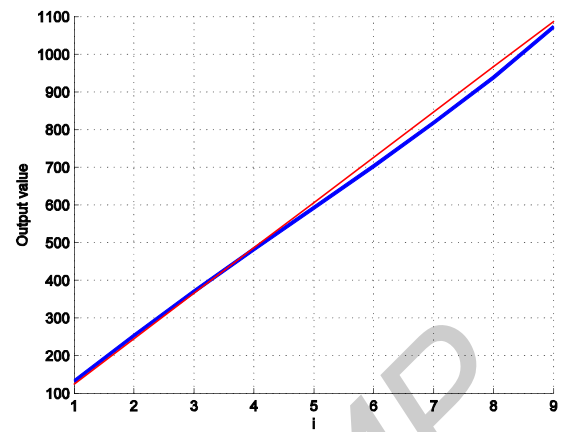


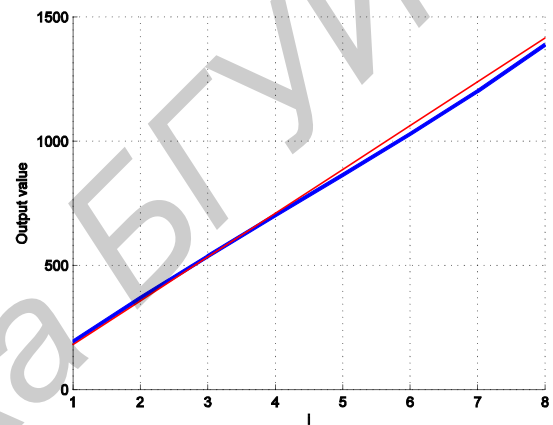
Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма формирования передаточной функции динамической системы

После сравнения полученной передаточной функции с имеющимися у нас шаблонными образами становится возможным отнести предмет на изображении к одному из трёх классов (рисунок 1) либо сделать вывод о том, что пространство перед роботом свободно.

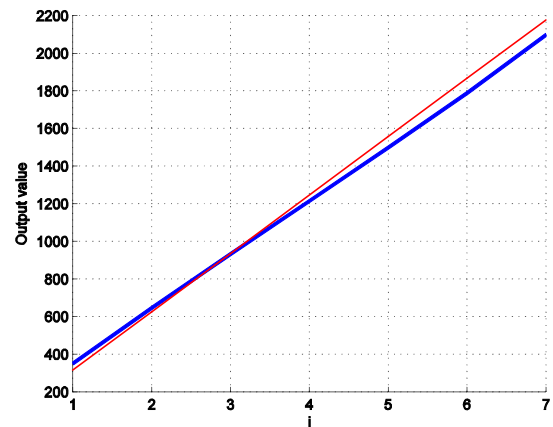
Через графики на рисунке 7 проведены прямые линии, обозначенные красным цветом, чтобы показать, что форма передаточной функции хотя и близка к прямой, однако прямой не является.



а)



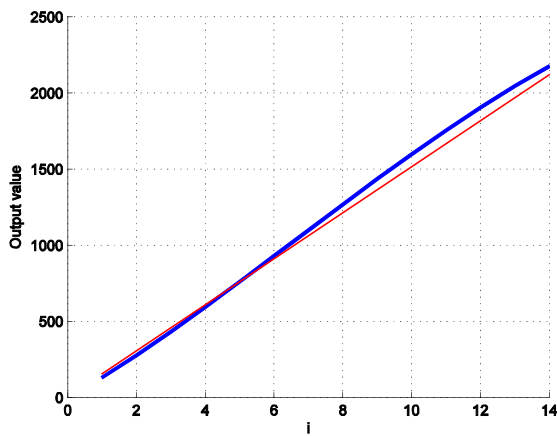
б)



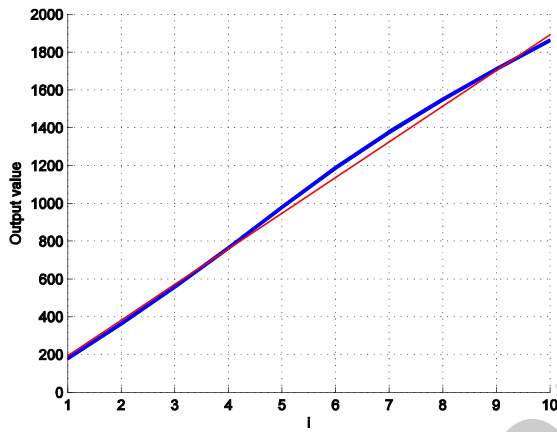
в)

Рисунок 7 – Варианты переходной характеристики динамической системы

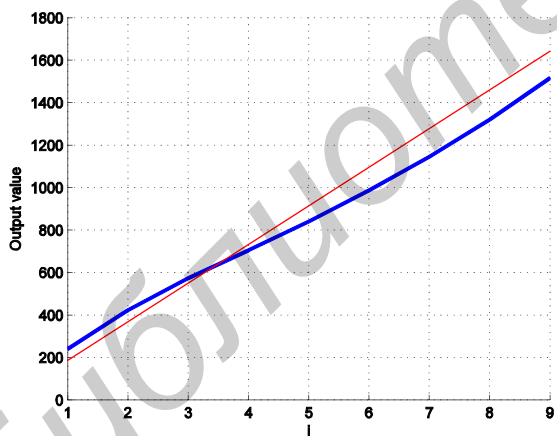
Таким образом, для каждого нового входного образа следует построить такую передаточную функцию нелинейного элемента, при которой система будет стабилизирована только при поступлении на вход данного образа A (рисунок 3). В данном случае критерием стабильности является соблюдение равенства $p = 0$.



a)



б)



в)

Рисунок 8 – Изображения, полученные с помощью сканирующего дальномера: а) – внутренней окружности, б) – внутреннего угла, в) – внешнего угла, и форма соответствующей передаточной функции динамической системы г)-е)

Следовательно, при программно-аппаратной реализации описанного алгоритма распознавания входного образа каждый раз необходимо строить новую передаточную функцию нелинейного элемента, позволяющую стабилизировать систему (рисунок 3).

3. Экспериментальное исследование результатов

Для того чтобы проверить работоспособность предлагаемого многокомпонентного комплекса реальных данных и выявить границы его применимости, комплекс был программно реализован на языке программирования Си и протестирован с помощью экспериментального мобильного робота (рисунок 9).

На борту робота был установлен инфракрасный дальномер Sharp 2Y0A21 и сервопривод, вращающий дальномер в горизонтальной плоскости в диапазоне от -39 до 39 градусов с дискретностью $1,5$ градуса.

Робот оснащён одноплатной системой управления на основе восьмимбитного микроконтроллера AVR. Система управления включает в себя также драйвер двигателей постоянного тока для управления ходовой платформой и радиомодем типа XBeePro для связи с персональным компьютером.

В результате проведения эксперимента было установлено, что при соблюдении указанных выше условий (расстояние до препятствий $18-23$ см) примитивы определялись верно в 70% случаев. Повысить точность и рабочий диапазон дальностей возможно применением более совершенных дальномеров. Диапазон расстояний, измеряемых дальномером, – от 10 до 80 сантиметров, однако было введено программное ограничение верхней границы измеряемого расстояния на уровне 40 см, так как на больших расстояниях дискретность сканирования в $1,5$ градуса не позволяет получить достаточно точное изображение предмета, находящегося перед роботом.

Увеличение же дискретности нежелательно, так как сопряжено с увеличением времени сканирования, которое при описанных параметрах составляет 10 секунд. Для защиты от помех применён программно реализованный медианный фильтр. При предъявлении округлого тела робот загорался оранжевый светодиод, внутреннего угла – синий, а внешнего угла – зелёный.

Кроме того, с помощью блока диалога осуществлялось формирование пакета данных, включающих MAC-адрес робота, результаты измерений расстояний до препятствия и название класса, к которому было отнесено препятствие в соответствии с рисунком 1.

Ниже приводится пример пакета данных, получаемых от робота в процессе функционирования.

```
*Robot ON*
MAC:$4090B9F8#
```

```
=====
distance
...
```



```
number_of_quatnt = 18
```

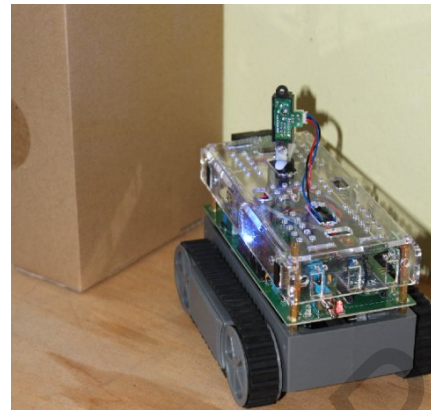
```
326  
267  
243  
243  
236  
233  
233  
233  
233  
235  
238  
243  
247  
251  
259  
299
```

```
*object_type: circle*  
*Robot OFF*
```

Ряд дистанций до препятствия, следующий за словом *distance*, опущен. Приводятся только те расстояния, которые не превышают 40 см, так как именно они служат входными данными для блока распознавания формы препятствия. Фрагмент, обозначенный с помощью «*», идентифицируется и обрабатывается в необходимые орфографические слова подпроцессором текстового компонента и озвучивается с помощью двуязычного синтезатора речи по тексту.



а)



б)



в)

Рисунок 9 – Классификация препятствий роботом: а) – круглое тело, б) – внутренний угол, в) – внешний угол

4. Компонент речевого вывода информации о работе синтезатора белорусского и русского языков

Для перевода информации, полученной от робота в текстовой форме в речевую, используется два компонента, основанных на синтезаторах речи: текстовый на белорусском [Гецэвіч і інш., 2011] и русском языках [Лобановидр., 2008]. Данные компоненты реализованы в качестве сторонних подключаемых модулей. В результате такого подключения к системе двуязычного синтезатора речевой информации пользователь получает озвученную информацию от робота о конкретном распознанном объекте.

Синтез устной речи по тексту для каждого языка осуществляется на основе лексико-грамматического анализа входного текста путём моделирования процессов речеобразования с учётом правил произношения звуков и интонирования для каждого языка.

Текст поступает на вход синтезатора и далее подвергается

ся последовательной обработкой рядом специализированных процессоров в соответствии с общей структурой и синтезатора речевой потоку, представленной на рисунке 10. Синтезатор включает следующие компоненты: текстовый процессор, просодический процессор текста и сигнала, фонетический процессор и акустический процессор. Каждый из этих модулей поддерживается набором ответов в соответствии с базой данных правил.



Рисунок 10 – Структура системы синтеза речи по тексту

Наибольшей модификации для озвучивания сообщений пользователю от мобильного робота подвергся текстовый процессор. Для него были доработаны плагины, позволяющие обрабатывать текст в следующей последовательности: очистка текста, идентификация и обработка сообщений от мобильного робота, преобразование знаков (аббревиатур, сокращений, чисел и др.), расстановки слесовых ударений и грамматических признаков словоформ.

В самом простом случае плагин идентификации сообщений реагирует на начальные «*Robot ON*» и конечные «*Robot OFF*» последовательности символов. В идентифицированном фрагменте плагин-обработчик находит последовательность символов «*object_type:»». Тип объекта он переводит по встроенному словарю возможных сообщений с внутреннего машинного языка робота на естественный язык пользователя. Например, синтезатором белорусской речи по тексту по входной строке «*object_type: circle*» будет сгенерирован орфографический текст «*перада мною знаходзіцца прадмет у выглядзе акружнасці*».

Далее преобразованный текст поступает на вход просодического, а затем фонетического процессоров. В результате работы просодического процессора текст разделяется на синтагмы, акцентные единицы, далее он разделяется на элементы акцентных единиц: интонационно-предъядро, ядро и изядро. И наконец, просодический процессор, в соответствии с базой данных просодических «портретов» синтагм,

для языкового сигнала устанавливает значимость амплитуды, продолжительность фонов частоту основного тона для каждого элемента акцентных единиц.

Акустический процессор на основе информации о том, каки не необходимо синтезировать аллофоны, а также каки просодические характеристики должны быть приписаны каждому аллофону, генерирует речевой сигнал путем компиляции отрезков натуральных звуковых волн соответствующих аллофонов мультифонов. Таким образом, входной текст преобразуется в речевой сигнал.

Заключение

Таким образом, был разработан экспериментальный многокомпонентный комплекс для управления мобильным роботом, предназначенным для функционирования в человеческой среде в автоматическом режиме или под управлением оператора. Мобильный робот способен идентифицировать объекты-препятствия трёх типов и озвучивать их естественным языком для пользователя.

Важно отметить, что спроектированная ранее архитектура двуязычного синтезатора речи по тексту позволила быстро масштабировать этот синтезатор для организации взаимодействия робота и пользователя.

Целью дальнейших исследований является повышение рабочего диапазона дальностей и добавление новых примитивов в набор распознаваемых изображений. Кроме этого, в будущем планируется идентифицировать и обрабатывать расстояния от мобильного робота до объектов, а также генерировать вопросы от робота пользователю типа «з якога боку мне аб'язджаць гэты аб'ект-перашкоду?» и принимать на них ответы.

Работа выполнена в лаборатории моделирования самоорганизующихся систем при поддержке гранта БРФФИ-ГФФИУФ11К-169 «Разработка исследований методов алгоритмов скрываемой защищённой передачи информации в задачах группового управления мобильными роботами и подвижными системами» совместно с лабораторией распознавания и синтеза речи ОИПИ НАН Беларуси.

Библиографический список

- [Каляев, 2007] Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов / И.А. Каляев [и др.] ; под общ. ред. Е.И. Юревича. – М. : Машиностроение, 2007. – 360 с.
- [Хайкин, 2006] Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. / С. Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
- [Vapnik, 1998] Vapnik, V.N. Statistical learning theory / V.N. Vapnik. – New York : A Wiley-interscience publication, 1998. – 732 p.
- [Кузнецов, 2006] Кузнецов, С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – 2 изд. – М. : Физматлит, 2006. – 356 с.

[Дмитриев, 1991]Дмитриев, А.С. Запись и восстановление информации в одномерных динамических системах / А.С. Дмитриев // Радиотехника и электроника. –1991. –Т.36. –№.1, с.101-108.

[Дмитриев, 2001]Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. Динамический хаос как носитель информации / А.С. Дмитриев ; под общ.ред. Г.Г.Малинецкого. – М. :Наука, 2001. – 480 с.

[Schöll, 2008] Handbook of Chaos Control / edited by E. Schöll and H. G. Schuster – 2nd ed. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. – 819 p.

[Геце́вич і інш., 2011]Геце́вич, Ю.С. Синтез атарбеларускага і рускага маўлення патакседля стаячых нарны хімабільных платформ / Ю.С. Геце́вич, Д.А. Пакладок // Сб. матэрыялаў Молодежного инновационного форума «Наука и бизнес – 2011» (Минск, 14–18 нояб. 2011 г.). – Минск : Беларуская навука, 2011. – С. 14–15.

[Лобанов и др., 2008]Лобанов, Б.М. Компьютерный синтез и клонирование речи / Б.М. Лобанов, Л.И. Цирульник // Минск : Белорусская наука, 2008. – 344 с.

COMPONENTS OF THE NATURAL SPEECH COMPLEX FOR IDENTIFICATION OF DIFFERENT TYPES OF OBSTACLES FOR MOBILE ROBOTS

Sychou U. A., Hetsevich Yu. S., Prakupovich R. A.

*United Institute of Informatics Problems
of NAS of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*
vsychyov@robotics.by
yury.hetsevich@gmail.com
rprakupovich@robotics.by

INTRODUCTION

Among robots designed to operate in human environments, there are robots for monitoring of premises, automatic cleaning, etc. Such robots need to be able to move around their environment automatically. They also need built-in means of interaction with users, so the last could control a robot and change its route. Most often such robots operate in the human environment. That is why an extremely usable robot will be the one, that can voice its operations or facts, which it establishes, with the help of internal algorithms and hardware.

In order to implement functions of identification and voicing of characteristics of obstacle objects in front of mobile robots a multi-component control system has been developed. It consists of a component of identification of obstacles and a component of bilingual text-to-speech synthesis.

MAIN PART

The component of obstacles identification is founded on the algorithm that analyzes data obtained from a two-dimensional scanning range finder, and recognizes geometric primitives such as a circle, outer or inner angle.

The component of bilingual text-to-speech synthesis is based on the algorithm of lexical and

grammatical analysis of an input text by modeling processes of speech production according to pronunciation and intonation rules for the Belarusian and Russian languages.

In order for this speech synthesizer to voice messages from a robot to a user by understandable lexical means, some necessary plugins of the text component have been developed, and dictionaries for translation of machine commands into Belarusian or Russian have been added. As a result, now the plugins can identify and analyze commands of mobile robots in an input symbol stream (or text) of the synthesizer. Thus, when a mobile robot approaches an obstacle, a user hears a message such as *«there is an obstacle object in front of me»* (in the original: *«перадамнаю знаходзіцца перадмет вы глядзеакружнасці»*).

The proposed components have been implemented as software and tested with an experimental mobile robot.

CONCLUSION

Thus, the authors have developed the experimental multi-component complex for mobile robot control, which is able to operate in the human environment, either automatically or under user's control. The mobile robot is able to distinguish obstacle objects of three types and voice data for the user with the help of the natural language.

It is important to note that the architecture of bilingual text-to-speech synthesis, which has been designed earlier, allows to scale quickly this synthesizer for human-robot interaction.

Our next research goal is to increase the working distance range and to add new primitives to the set of recognizable images. Also in future it is planned to identify and analyze the distance from a robot to an object, as well as to generate questions which a robot will address to a user, such as *«from which side should I bypass this object obstacle?»* (in the original: *«з якога боку мне аб'язджаць гэты аб'ект-перашкоду?»*), and, of course, accept answers.

The work has been accomplished in the Laboratory of self-organization system modeling with the support of the BRFFR-SFFRU grant F11K-169 «Development and research of methods and algorithms for hidden and secure information transmission in the problems of group control of mobile robots and active systems» in cooperation with the Laboratory of Speech Recognition and Synthesis of the UIIP of the NAS of Belarus.