

AI チャレンジ研究会 (第 40 回)

Proceedings of the 40th Meeting of Special Interest Group on AI Challenges

CONTENTS

- Kicking Testbed to Improve Kicks for Humanoid Soccer Robots in SPL..... 1
Ming-Ian Chang, N. Michael Mayer (National Chung Cheng University, Taiwan)
- Autistic Children and Music Playing with Humanoid Robot..... 12
Ying-Hua Peng *1, Min-Liang Wang *2, N. Michael Mayer *1
*1 National Chung Cheng University, Taiwan, *2 Asian Institute of Tele-Surgery, Taiwan
- Design and Preliminary Experiments of an Articulation Mechanism for an Infant-like Vocal Robot
"Lingua" towards natural conversation with people@home 15
Nobutsuna ENDO, Tomohiro KOJIMA, Yuki SASAMOTO, Hisashi ISHIHARA, Takato HORII, Minoru ASADA
(Graduate School of Engineering, Osaka University)
- RoboCup サッカーにおける SIRMs ファジイシステムを用いたログからの行動評価.....20
三船 哲史*1, 中島 智晴*1, 秋山 英久*2, 関 宏理*3
*1 大阪府立大学, *2 福岡大学, *3 関西学院大学
- 大規模マイクロシミュレーションによるサッカー試合評価のためのクラスタとその実装26
西野 順二*1, 長岡 俊男*1, 秋山 英久*2
*1 電気通信大学, *2 福岡大学
- Arduino ボード用の 3 種のプログラミング言語を扱う初心者向けテキストの試作.....30
光永 法明 *1, 柘田 真輝 *2
*1 大阪教育大学, *2 大阪教育大学卒業

日時:2014年5月5日

場所:九州工業大学 情報工学部内 2201講義室

Kyushu Institute of Technology, Fukuoka, May 5, 2014

社団法人人工知能学会

Japanese Society for Artificial Intelligence

Kicking Testbed to Improve Kicks for Humanoid Soccer Robots in SPL

MING-LAN CHANG, N. Michael Mayer

Department of Electrical Engineering and Advanced Institute of Manufacturing with High-tech Innovations (AIM-HI), National Chung Cheng University, Chia-Yi, Taiwan
Email: nmmayer@gmail.com

Abstract. Kick motions are one of the major tasks in the humanoid soccer game. During the kicking process the most important thing is which part of the foot touches the ball in order to predict the ball's direction. We present a mechanism which can simulate kicks. For this purpose we built a kicking device as testbed. By using this machine we create a lookup table which records the kicking results and the relative position of the foot and the ball. We hope this data can improve the robot's skills such as in the case of dynamic kicks, perform a curved ball kick and predict the ball's direction.

1 Introduction

The kicking motion [1,2,3] is among the most important motions in the humanoid soccer game. Like other motion patterns, kick motions are designed by key frame based techniques [4, 5, 6]. This popular method has been used to design kick motions by a number of RoboCup Standard Platform League (SPL) teams. However, such approaches are inflexible, that is the robot cannot adapt with the changes of the situation, such as when the ball has been moved.

Although dynamic kick motions design is a formidable computational challenge [7,8,9], dynamic kick motions have become an important technique to improve the quality of the game. The intention is here to enable the robot to kick the ball in different directions with different force levels even if the ball has been moved to a different position while the robot is performing the kick (see Fig.1). This technique can save time if the robot is aiming to direct the kick or if the ball disappears while the robot is performing the kick. Dynamic kicking also plays an important role in passing challenge [10,11], the robot will modify the direction of the kick due to the position of the teammate, it lets the robot play more efficient on the soccer field. Approaches by B-Human and NaoTH [7,8] consider the foot contour as circle and thus simplifies the model of the collision between ball and foot as a collision between two spheres. This may lead inaccurate kicking results if the robot kicks the ball with one side of the foot.

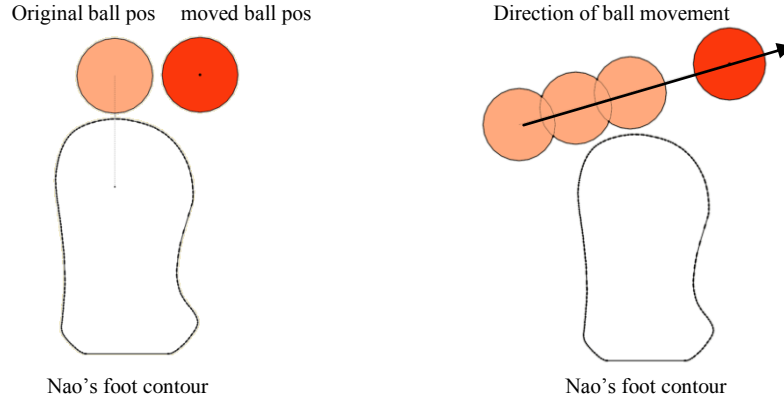


Fig. 1. The most common problems of kicking during the humanoid soccer game: The ball has been moved to a different position or the ball is rolling while the robot performs the kick.

In this paper we present a kicking device with the identical shape as real Nao's foot contour which can simulate the moment of the foot contour contact with the ball in any angle. We record the process with the camera to build up a lookup table of different foot and ball position pairs and results of the ball's direction after the kick. Unlike in the simulation, this data contains the factor of the torque the rolling ball and the friction between the ball, foot and field. The robot searches the lookup table every time before the kick to predict the ball. On the other side it can also let the robot learn how to predict the direction of a ball kicked by an opponent robot more precisely.

The paper is organized as follows: in section 2, we describe the elastic collisions to simulate the condition of the kick. Section 3 shows the structure and the mechanism of our device. The experiments and the results are given in section 4, section 5 contains conclusion and future works.

2 Elastic collisions

2.1 One-dimensional Newtonian

Collisions play an important role in analyzing and predicting the results of the kicking process. The Elastic collision between two objects 1 and 2, we let m_1 and m_2 be the masses, u_1 and u_2 the velocities before collision, and v_1 and v_2 the velocities after collision. According to the conservation of the total momentum the total momentum before and after the collision are the same. The equation is expressed as below.

$$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

The conservation of the total kinetic energy is expressed by the equation as below.

$$\frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

We can find v_1 and v_2 by using the formulas above.

$$v_1 = \frac{u_1(m_1 - m_2) + 2m_2 u_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2 = \frac{u_2(m_2 - m_1) + 2m_1 u_1}{m_1 + m_2}$$

2.2 Elastic collisions in two dimensions

As shown in Fig.2, consider two objects, m_1 (blue) and m_2 (red). Assuming that m_2 is at rest before the collision, m_1 moves straight forward with velocity v_1 . The angle between \vec{v}_1 and \vec{v}'_2 is θ_1 , and the angle θ_2 is the deflection of m_1 after the collision. According to the conservation of the total momentum and the conservation of the total kinetic energy we get v'_1 and v'_2 as below

$$v'_1 = v_1 \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2m_1 m_2 \cos \theta_1}}{m_1 + m_1}$$

$$v'_2 = v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_1} \sin \frac{\theta_1}{2}$$

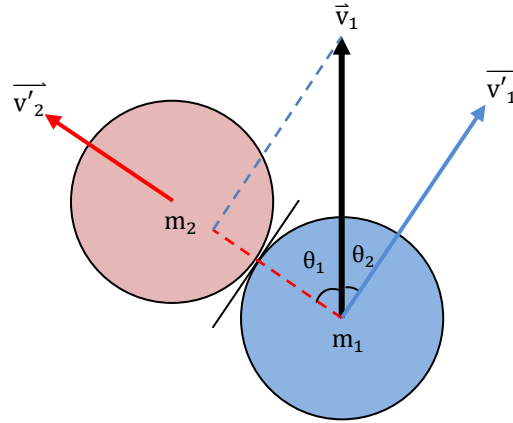


Fig. 2. m_2 is at rest before the collision, m_1 moves toward \vec{v}_1 . \vec{v}'_1 and \vec{v}'_2 are the moving directions of m_1 and m_2 after the collision respectively. Direction \vec{v}_1 , \vec{v}'_1 and \vec{v}'_2 form a right triangle indicated by dotted lines.

3.1 Hardware

In order to represent the foot shape of Nao precisely we build our device with the following hardware: Asus Xtion Pro Live, Makerbot Replicator 3D printer, squared iron shelving unit, extension springs, Dynamixel servo motors, and a laptop.

Asus Xtion Pro Live: With Xtion we can obtain RGB-D information, we scan around the Nao's foot sole with Xtion to build the 3D model of the Nao's foot contour in sketch up. In addition, we also use Xtion to record the process of the kick motion.



Fig. 3. Asus Xtion Pro Live RGB-D device and suspend on the top the frame.

Makerbot 3D printer: We print out the 3D model of the Nao's foot contour, ball and socket joint to represent the joint of the ankle and the hip, a trigger to launch the kick motion, and other small components to consummate the structure.

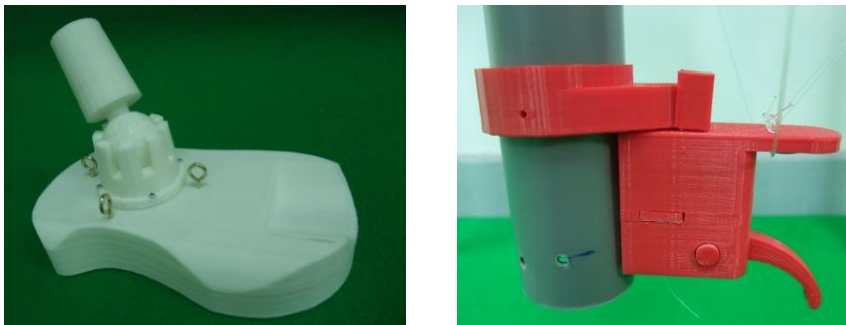


Fig. 4. Nao's foot contour with a ball and socket joint (left); one side of the trigger suspend on the foot and another side connect to the motors through the strings (right).

Squared iron shelving unit: A Squared iron shelving unit to form a robust outer frame whole device.

Extension Springs: Four extension springs suspend on four corners of the squared iron shelving unit, and on the other side of the springs all connect to the leg model of Nao.

Dynamixel servo motors: Two Dynamixel servo motors are connected to the leg model of the Nao by the enhanced nylon string. One motor controls the x axis motion of the foot model, and another controls the y axis.

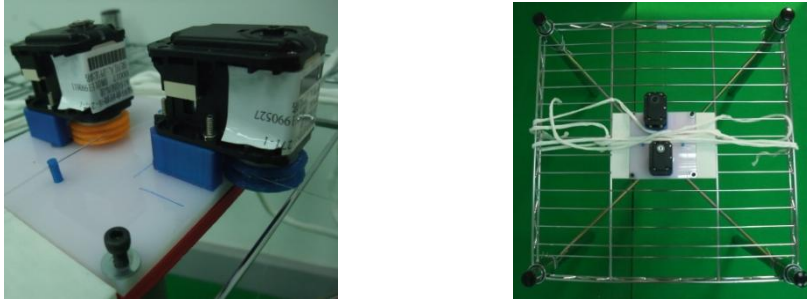


Fig. 5. Dynamixel servo motors control the foot through strings and are located at the center platform (left); the overview from the top, the springs connect to the four corners of the structure and the foot. In this way the kicking force is produced (right).

Laptop: The laptop provides the control of the foot model by sending and receiving packages to the servo motors, and also analyzing the data from Xtion sensor and build up the data base.

The overview of the device is shown in Fig.7. A tube with two ball joints at both sides forms the basic leg bone (see Fig.6). Usually we use two or three actuators to construct robot's ankle and the hip. We use ball and socket joints because ball joints have sufficient mobility to perform the kick in any angle. One side of the basic leg bone is attached to the squared iron shelving unit. The side of the basic leg bone is attached to the 3D model of the foot contour. Four extension springs suspend between the squared iron shelving unit and the basic leg bone to simulate the power of the kick. Two Dynamixel servo motors are connected to the basic leg bone with nylon strings. The Dynamixel servo motors pull the leg back and also left or right through enhanced nylon string to store the kicking force and the kick is prepared. After the trigger has been pulled the kick will be preformed. Xtion is set right above the foot where can record the moment of the kick.



Fig. 6. The basic leg bone represents the simplified leg of Nao.

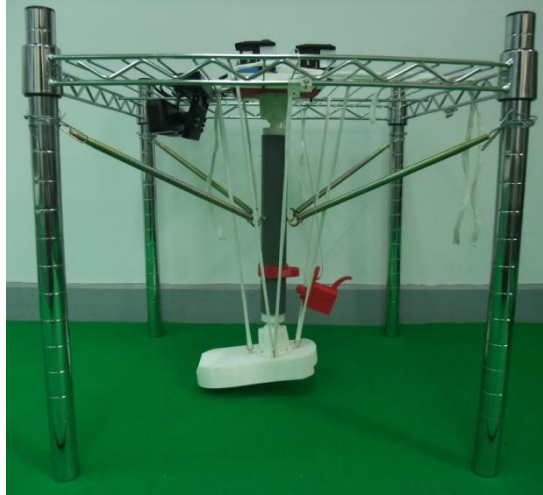


Fig. 7. The overview of the device.

3.2 Software

The procedure of obtaining and analyzing the information from image is shows in Fig.8.

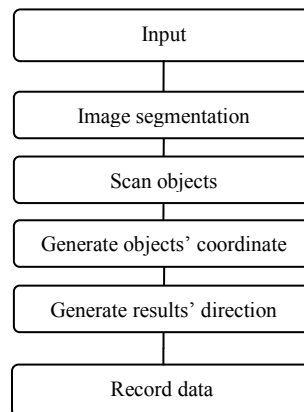


Fig. 8. Depicts the flow chart of the scanning software.

First the images are segmented into orange and white regions. Second we scan the segmented images to find the coordinates of the foot contour and the ball's center before the kick occurs. In order to determine the coordinates of the foot contour we have to find out the extreme right, left, top and bottom white pixels ($startW_v$, $endW_v$,

$midW_v$, $endW_h$). From these pixels we can find the semi- rightmost point ($endW_h$) of the foot. The final rightmost point is determined by scanning the rest of the right half image vertically until no white pixels can be found any more.

In a similar way we find the coordinate of the center of the ball. To find the orange pixel, first we scan vertically from the middle of the image, second we scan leftward column by column, if there is still no orange pixel can be found then we scan rightward. After finding the first orange pixel we scan vertically to get the last orange pixel in this scan line and then calculate the middle point of the orange pixels, i.e. the y coordinate of the ball center. We can get the x coordinate of the ball center in the same way.

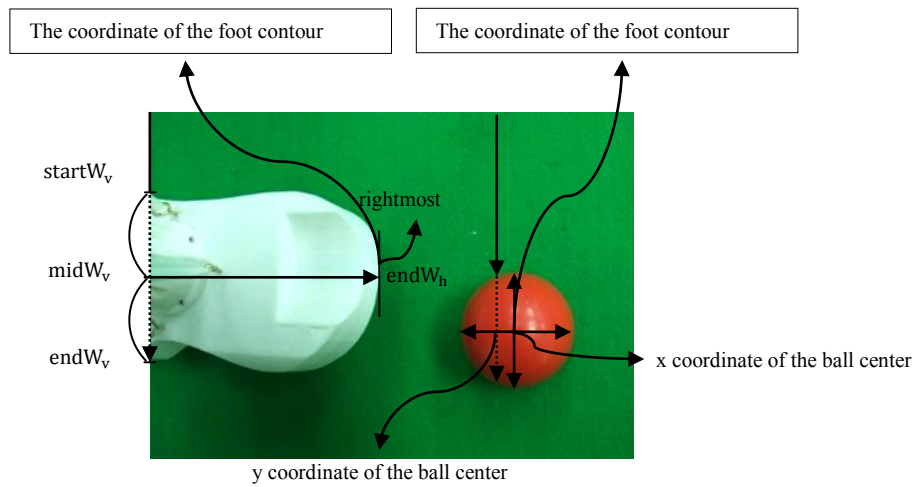


Fig. 9. The illustration of scanning the coordinate the foot contour and the center of the ball. Here we set an offset to speed up the scanning process.

After the kick we detect the center of the ball through the serial images with the same method. The direction vector of the moving ball is determined by the difference of the coordinates of the ball center in each frame. The coordinate of the foot contour and the ball's center before the kick and the ball's moving direction vector construct one group of data. We repeat this procedure several times with different ball positions to get the basic data set and create a lookup table to results of the ball's direction after the kick. The rest of the direction vector is calculated by using the interpolation.

The input of this lookup table is the position of the ball and the output is the result direction of the ball after the kick. Every time before the kick, the robot observes the position of the ball related to the robot itself and looks up this table to predict the motion of the ball more precisely.

4 Results

In this experiment we fix the direction of the kick and set the ball in different positions in each testing. The Fig. 10 shows one series of the raw kicking image with the ball's offset 14.2 and -7.3.

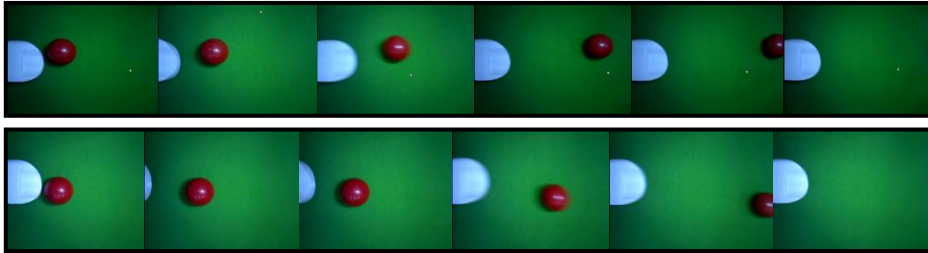


Fig. 10. A serial of raw image of kicking with the ball offset 14.2

Here ball offset represents the ball position in relation to the foot because of we fix the kick direction straight forward. The vector between two balls' center is the result for which we care most i.e. the direction vector of the rolling ball (see Fig.11.).

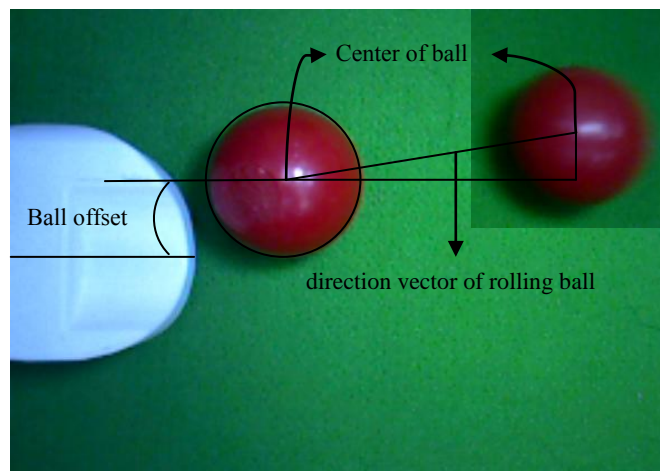


Fig. 11. Acquire information from the video

The Fig.12 shows the data set after several tests, and we calculate the reciprocal of the slope to simplify the result. It is also more obvious to observe. In Fig.13 the data of Fig.12 is depicted in a 2D image. We can find out the result is different from assuming the collision as an elastic collisions in two dimensions.

num	Ball offset	direction vector	slope	reciprocal of slope
1	-37.2	(14.1,-34.5)	-2.4467	-0.4087
2	-22.5	(14.2,-7.9)	-0.5563	-1.7975
3	-7.3	(43.0,-6.0)	-0.1395	-7.1667
4	-3.2	(93.3,-5.7)	-0.0611	-16.3684
5	-2.0	(62.9,2.0)	-0.0318	-31.45
6	-0.1	(43.4,-0.6)	-0.0138	-72.3333
7	14.2	(29.7,3.1)	0.1044	9.5806
8	17.0	(77.8,13.1)	0.1684	5.9389
9	31.4	(46.0,30.7)	0.6674	1.4984
10	35.4	(19.3,14.2)	0.7357	1.3592

Fig. 12. The data set of straight kick.

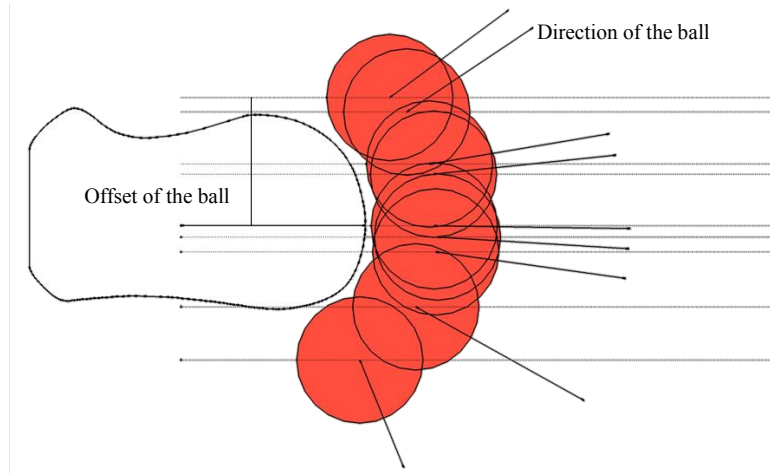


Fig. 13. A 2D illustration of the data set. The orange circles are the ball's positions in different offsets. The foot kicks straight forward.

The robot looks up the table to predict the result. If the offset of the ball is not found in the table, the robot will calculate the kicking result by using interpolation

$$\text{kick}_{\text{result}} = \frac{(\text{offset}_{\text{observe}} - \text{offset}_{\text{lower}}) \times (\text{resultSlope}_{\text{upper}} - \text{resultSlope}_{\text{lower}})}{\text{offset}_{\text{upper}} - \text{offset}_{\text{lower}}} + \text{resultSlope}_{\text{lower}}$$

5 Conclusion and Future Work

In this paper we present a device can perform the kick motion and also build up the lookup table of the kicking result. With this data, we want to improve the

performance of the kick. Before the kick looks up the table and modify the position of the foot due to the ball to make the kick more accurate at any time.

At this stage the data has been obtained and process on this device and the laptop. Further we want to build the system in the robot so he can learn and improve his kick skill in every soccer game. On another side, if the camera is set in different position to observe this device, then we can acquire the data just as the robot is observing the ball kick by opponents. This lookup table will be useful for the robot to enhance his ability of predict.

Last we will try to perform the different kicks from different directions to complete the lookup table and make the dynamic kick more perfect. In addition, it is also possible and interesting to perform a curved ball kick with this device [12]. The curved ball kick will have an impact on the soccer game.

References

1. Jeong-Ki Yoo ,Yong-Duk Kim, Bum-Joo Lee, In-Won Park, Naveen Suresh Kuppaswamy and Jong-Hwan Kim: Hybrid Architecture for Kick Motion of Small-sized Humanoid Robot, HanSaRam-VI: Robot Intelligence Technology Laboratory, Dept. of EECS, KAIST, Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, Republic of Korea
2. Sébastien Lengagne, Nacim Ramdani and Philippe Fraitse: Planning and Fast Re-Planning of Safe Motions for Humanoid Robots: Application to a Kicking Motion: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 11-15, 2009 St. Louis, USA
3. Chang Hyun SUNG, Takahiro KAGAWA and Yoji UNO: Planning of Kicking Motion with Via-Point Representation for Humanoid Robots: Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya, 464-8603, Japan
4. Burkhard, H.D., Holzhauer, F., Krause, T., Mellmann, H., Ritter, C.N., Welter, O., Xu, Y.: Nao-team humboldt 2009. Technical report, Humboldt Universität zu Berlin (2009)
5. Röfer, T., Laue, T., Müller, J., Bösch, O., Burchardt, A., Damrose, E., Gillmann, K., Graf, C., de Haas, T.J., Härtl, A., Rieskamp, A., Schreck, A., Sieverdingbeck, I., Worch, J.H.: B-human team report and code release 2009 (2009) Only available online: <http://www.b-human.de/download.php?file=coderelease09.doc>.
6. Norbert Michael Mayer, Joschka Boedecker, Minoru Asada: Robot Motion Description and Real-Time Management with the Harmonic Motion Description Protocol: Department of Electrical Engineering, National Chung Cheng University, 168 University Road, Min-Hsiung, Chia-Yi 62102, Taiwan: JST ERATO Asada Project for Synergistic Intelligence and Emergent Robotics Laboratory, Graduate School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, FRC-1, Osaka University, 2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871, Japan
7. Felix Wenk and Thomas Röfer: Online Generated Kick Motions for the NAO Balanced Using Inverse Dynamics: Universität Bremen, Fachbereich 3 - Mathematik und Informatik, Postfach 330 440, 28334 Bremen, Germany
8. Yuan Xu, Heinrich Mellmann: Adaptive Motion Control: Dynamic Kick for a Humanoid Robot: Institut für Informatik, LFG Künstliche Intelligenz Humboldt-Universität zu Berlin, Germany
9. Judith Müller, Tim Laue, and Thomas Röfer: Kicking a Ball - Modeling Complex Dynamic Motions for Humanoid Robots: Universität Bremen, Fachbereich 3 - Mathematik und Informatik, Postfach 330 440, 28334 Bremen, Germany

10. Masaki Ogino, Masaaki Kikuchi, Jun'ichiro Ooga, Masahiro Aono, and Minoru Asada: Optic Flow Based Skill Learning for A Humanoid to Trap, Approach to, and Pass a Ball: RoboCup 2004 Symposium papers and team description papers, CD-ROM, 2004.
11. Masaki Ogino, Masaaki Kikuchi, and Minoru Asada: Visuo-motor learning for face-to-face pass between heterogeneous humanoids: Robotics and Autonomous Systems, Vol.54, No.6, pp.419--427, 2006.
12. T. Asai, M. J. Carré, T. Akatsuka and S. J. Haake: The curve kick of a football I: impact with the foot: Faculty of Education, Yamagata University, Yamagata, Japan, Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield, Mappin Street, Sheffield, UK, Department of Engineering, Yamagata University, Yamagata, Japan.

Autistic Children and Music Playing with Humanoid Robot

Ying-Hua Peng¹, Min-Liang Wang², N. Michael Mayer¹

Abstract—Mimicry is an important social skill for every person. A humanoid robot is used to play with autistic children in order to attract their attention and want to improve their concentration. Music therapy plays also an important role in this experiment. Robot plays with autistic children with music. The robot will imitate the notes which the child has played, and then the child has to imitate the robot in return. The purpose of the treatment is to improve their social skills including interpersonal synchrony and concentration can help them to adapt this society easier and make a better life in the future.

I. INTRODUCTION

In recent years, research of autistic children has become more and more popular. Autism is a disorder of neural development. The characteristics of autism include impaired social interaction and communication, and repetitive behaviors [1, 2]. There are some methods available for autism therapy [3], such as behavior therapy, game therapy, art therapy, music therapy and so on. Therapists always need mediators to treat autistic children in general because they cannot play with autistic children directly. For example, art therapy through drawing, game therapy is done by game.

Autistic children are afraid of people because of their disease. Therefore, no matter which therapy we use, the problem of fearing people for autistic children is a big issue. For this reason, using a robot to cure autistic children can be the way of choice. A robot has such characteristics: less intimidating to the child, more predictable than a human. It can do the same procedure repeatedly and will not get tired. There is also some research that shows that robots indeed are attractive to autistic children [4, 5, 6, and 17]. We imagine robots as something between a toy and human [7, 8].

“Play Therapy” is a form of counseling or psychotherapy that uses an interaction game to communicate with people and help them, especially children. Play therapy is used to help towards a better social integration, growth and development. It is generally employed with children between the age from three to eleven. Therefore, we assume that letting robots play with autistic children is a good way to improve their social and communication skills.

“Music Therapy” is a professional area that completes an approved music therapy program by a music therapist. Music therapy can improve several aspects of the disease, such as mental functioning, motor skills, emotional development, social skills, and quality of life. Patients can get a feeling for the music by listening, singing, playing instruments, and moving. Music therapy for children is conducted either in a

one-on-one session or in a group session, and it can help children with problems in communication, attention, and motivation, as well as with behavioral problems [9].

II. LITERATURE STUDY

A. Researches of Human-Robot Interactions

Kerstin Dautenhahn, Iain Werry, John Rae, et al. started using robots to help autistic children since 1998 [10]. This project which is called “The AuRoRA Project” [11] has been executed for over than 10 years. One of their former experiments was using a wheeled robot, Labo-1. They put Labo-1 and an autistic child together in a small room which size is 2x3 square meters. Labo-1 tries to catch the child, and it makes a sound when Labo-1 is near the child. Then, they recorded the interaction between the child and Labo-1 as a video. They analyzed the record and got feedback such as whether Labo-1 attracted the child, how much time the child played with Labo-1.

After Labo-1, they tried and developed many different types of robots one by one to support the Aurora project. The following robots are being used: Pekee robot, an upgrade version of Labo-1; Robota robot, a humanoid doll robot which has an infrared sensor and some rotatable joints; KASPAR, a humanoid robot that has many movable joints (over 11) and tactile sensors, and its eyeballs are rotatable. There are some researches that used KASPAR interact with the autistic children by tactile interaction, and get good results [5, 6].

There are also some robots for human-robot interactions (HRI). Paro is a seal-like robot that has five kinds of sensors which can perceive people and its environment. Paro is now always used to accompany with the old man [12]. Huggable has more than 1500 sensors on its skin can feel the environment, and its appearance is like a teddy bear [13]. NeCoRo is a robot that likes a real cat, and it has 7 sensors which can let it know the touch from the environment [14]. We can see that more and more robots are made for accompany or take care of human.

The ongoing development of small size robots results in better and more robust robots with the advance of the corresponding technologies. There are more and more organizations devoted to this field of research, for example, using a small size robot to help an autistic child. One group of Connecticut University has published a paper [9] in which they use Aldebaran's NAO robot to teach autistic children to play the drum, for rhythmic music playing interaction.

Daniel J. Ricks, Mark B. Colton, and Michael A. Goodrich also published a paper [15] in 2012. They made a humanoid robot capable of only upper body expression transforms. It can sing and play some specific toys.

¹Dept. of Electric Eng. and Advanced Institute of Manufacturing with High-tech Innovations (AIM-HI), National Chung Cheng University, Chia-Yi, Taiwan

²Asian Institute of TeleSurgery, Lukang, Taiwan. e-mail: pml.wang@gmail.com.

In Taiwan, Tsai, Cheng-Hung [16] used a humanoid robot to play pose simulated game. They used a normal webcam and let the child wore red gloves and stickers on their shoulder to capture the motion. Then, they use ZigBee to transmit data and compared the motion differences between each other.

B. Interpersonal Synchrony

According to the literature [9], they use NAO robot to teach autistic children to play the drum. They consider that this may be a form of mimicry which is an important social skill [18, 19].

Interpersonal synchrony is a dynamic process that appears from the interplay between the members of the group. They mutually influence each other as they move together, and this creates an emergent synchronous system that is self organizing. Synchronous activities can lead people cooperate with others, and can improve the feelings of affiliation [18].

III. EXPERIMENT DESIGN

A. Background and Goal

Our goal is to teach autistic children social or communication skills through interacting or playing with the robot. We think the robot could be a good mediator for improving social skills; specifically this is true for humanoid robots. There are two methods to make a humanoid robot like a normal human:

- Remote control the robot to make it like a human. However, many incidents will occur when we play with an autistic child. We need complementary behaviors to make a robot behave in the same manner as a human. The challenges here are that we need to design enough motion patterns to make the robot like a human and the robot (or we) must react in time.
- Make the robot act autonomously like a human. For this purpose, we need some kinds of sensors, such as camera, microphone, and tactile sensors. Building algorithms to generalize normal human's behavior and shows it autonomously is a good way to make the robot act like a human.



Figure 1. Darwin-OP and the glockenspiel.

There are some researches that show that the “Music Therapy” is also effective for autistic children [20, 21].

Music therapy indeed can prompt social, emotional and motivational development in children with autism. Moreover, music always acts as a social intermediary that forms a bridge between the participants. They use rhythm therapy to train the child’s rhythmic gross motor and drumming actions, and hope that they can improve their cooperation and joint attention.

Therefore, we want to add music into the experiment and also use the humanoid robot play with the autistic children. In our experiment, we use the humanoid robot named Darwin-OP as our mediator. Fig. 1 shows the robot and the instrument he played.

B. Experiment

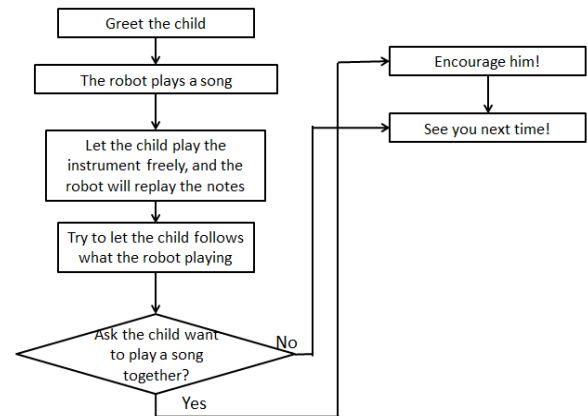


Figure 2. The flow chart of our experiment.

There are three phases in our experiment. Fig. 2 shows that the three phases including attract the children’s attention, imitating and training, and observe their reactions and paper tests.

At the beginning, robot will greet the child who comes in the room. Then play a song to the child to attract his/her attention. It is a very important step in our experiment, because the child with autism is hard to concentrate on one thing. The moving robot acts like a human and the song that the robot played are all interesting for the autistic children.

After the robot plays the song, we let the child play the instrument freely. The robot will imitate what the child just played, and we will see the reaction of the child. After a few minutes, we ask the child imitate what the robot play conversely. Robot teaches the child to play the song which it just played at the beginning by mimicry. It is training that the child will be more familiar with music and the instrument. Moreover, it is also can improve their coordination. We can observe the child would be willing to play the whole song after the training.

Final phase is the paper test. We can test them more about the ability of mimicry and the understanding with the different voice in the post test. The recorded video is also an important data in our experiment. We record the whole procedure during the experiment. In the video, we can see how the child reacts in every phase, and the effect of this

experiment to those children.

IV. CONCLUSION

In our previous experiment to the autistic children, we found that the humanoid robot indeed can attract their attention. We hope that in this experiment, we can improve their social skills. Because of their uniqueness, they are hard to adapt or integrate into the group. Learning mimicry and joint-attention can make them integrate into a group more easily.

Music therapy is not only used for the autistic children but also used for those who have psychological disorders. There is no doubt that music can make people relax and happy. We believe that music is a good non-verbal communication way to communicate with others, so it is easier to use for the autistic children. Make them have a better life has been the goal of our efforts.

ACKNOWLEDGMENT

We like to thank students and teacher from National Yunlin Special School; IRCAD TAIWAN Training Center and AIM-HI for the provided technology, medical knowledge and financial help; NSC (Nation Science Council) in Taiwan provided the budget for our project - project number: NSC 101-2221-E-194-038- and NSC 101-2221-E-758 -001-.

REFERENCES

- [1] Levy SE, Mandell DS, Schultz RT. 2009. Autism, Lancet. PMID 19819542.
- [2] Rapin I, Tuchman R.F. 2008. "Autism: definition, neurobiology, screening, diagnosis". Pediatric Clinics of North America Volume 55, Issue 5, Pages 1129-1146. PMID 18929056.
- [3] Bryson SE, Rogers SJ, Fombonne E. 2003. "Autism spectrum disorders: early detection, intervention, education, and psychopharmacological management". Can J Psychiatry.
- [4] Wainer, J., Dautenhahn, K., Robins, B., & Amirabdollahian, F. "Collaborating with kasper: Using an autonomous humanoid robot to foster cooperative dyadic play among children with autism." Humanoid Robots (Humanoids), 2010 10th IEEE-RAS International Conference on. IEEE, 2010.
- [5] Robins, Ben, Kerstin Dautenhahn, and Paul Dickerson. "Embodiment and Cognitive Learning—Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour?" Social Robotics. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 66-75.
- [6] Costa, S., Lehmann, H., Robins, B., Dautenhahn, K., & Soares, F. "Where is Your Nose?-Developing Body Awareness Skills Among Children With Autism Using a Humanoid Robot." ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. 2013.
- [7] Ryan Cassidy, Brannon Cote-Dumphy, Jae Seok Lee and Wade Mitchell-Evans. 2009. "Why do People Imagine Robots". Worcester Polytechnic Institute.
- [8] "Toy Story" movie series. 1995, 1999 and 2010. Walt Disney Pictures.
- [9] Timothy GIFFORD, Sudha SRINIVASAN, Maninderjit KAUR, Dobri DOTOV, Christian WANAMAKER, Gregory DRESSLER, Kerry MARSH, Anjana BHAT. 2011. "Using Robots to Teach Musical Rhythms to Typically Developing Children and Children with Autism". University of Connecticut.
- [10] Kerstin Dautenhahn and Iain Werry. 2000. "Issues of robot-human interaction dynamics in the rehabilitation of children with autism". In J.-A. Meyer, A. Berthoz, D. Floreano, H. Roitblat, and S.W. Wilson, editors, Proc. From animals to animats 6, The Sixth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB2000), pages 519-528.
- [11] <http://www.aurora-project.com/>, The AuRoRA Project.
- [12] <http://www.parorobots.com/>, robot Paro.
- [13] <http://robotic.media.mit.edu/projects/robots/huggable/overview/overview.html>, teddy bear Huggable.
- [14] <http://megadroid.com/Robots/necoro.htm>, cat NeCoRo.
- [15] Daniel J. Ricks, Mark B. Colton, and Michael A. Goodrich. 2012. "Design and Evaluation of a Clinical Upper-Body Humanoid Robot for Autism Therapy".
- [16] Tsai, Cheng-Hung. 2011. "Realization of the Interactive Robotic Education System for Autistic Children". National Chiao Tung University.
- [17] Francois Michaud and Catherine Th'eberge-Turmel. Mobile robotic toys and autism. In Socially Intelligent Agents, pages 125-132. Springer, 2002.
- [18] Hove M. J. and Risen J. L. (2009) It's all in the timing: Interpersonal synchrony increases affiliation . Social Cognition 27 , 949 – 960 .
- [19] Kinsbourne, M., & Helt, M. (2011). Entrainment, mimicry, and interpersonal synchrony. In D. A. Fein (Ed.), The neuropsychology of autism (pp. 339-365). New York: Oxford University press.
- [20] Kim, Jinah, Tony Wigram, and Christian Gold. "Emotional, motivational and interpersonal responsiveness of children with autism in improvisational music therapy." Autism 13.4 (2009): 389-409.
- [21] Mehler, Jillian. "Parental Perception of Music Therapy for Children Diagnosed with Autism Spectrum Disorders." (2013).

Design and Preliminary Experiments of an Articulation Mechanism for an Infant-like Vocal Robot "Lingua" towards natural conversation with people@home

Nobutsuna ENDO, Tomohiro KOJIMA, Yuki SASAMOTO,
Hisashi ISHIHARA, Takato HORII, Minoru ASADA

Dep. Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University

endo@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract

Many teams @home utilize conventional speech recognition and generation systems of which sound is often heard unnatural due to a different sound generation from humans'. Further, conversation is based on existing AI strategy. Towards more natural conversation with humans, two big issues are considered; one is a sound generation mechanism like a human and the other is how to learn to vocalize like a human. As the first step towards these challenges, this article focuses on the mechanical design for infant-like vocal robot. Several observational studies suggest that the infant vocalization towards language acquisition develops through interactions with caregivers. However, what kind of underlying mechanisms works and how caregiver's behavior affects on this process have not been made clear since it is very difficult to control the infant vocalization. In order to attack this issue, we built an infant-like vocal robot "Lingua" as a controllable vocal platform. Lingua has two features; infant-like voice and high articulation capability. The shape of its vocal tract resembles that of a 6-month-old infant based on the anatomical data, and this may contribute to the former. 7-DOFs for articulation in the tongue is realized by sophisticated design of linkage mechanisms inside miniaturized vocal tract for high capability of its articulation. Preliminary experiments showed that the robot succeeded in vocalizing almost the same fundamental frequency vowel-like utterances similar to that of an infant.

1 Introduction

Spoken language is one of the important means for humans to communicate with others. Spoken language is one of the important means for humans to communicate with others. This is one of big issues dealt at RoboCup@home league where many teams utilize conventional speech recognition and generation systems [Chen 12]. The sound they generate is often heard unnatural due to a different sound generation from humans'. Further, conversation is realized mainly based on existing AI strategies. Towards more natural conversation with humans, there are two big issues to be considered:

1. How to generate vocal speech: due to properties of electromagnetic speakers, the sound properties generated by the conventional systems are different from humans' which may cause unnatural sounds.

2. How to learn to vocalize: if we adopt a human-like vocal system to attack the issue (1), the next issue is how the system learns to generate more natural vocal sounds.

As the first step towards these challenges, this article focuses on the mechanical design for infant-like vocal robot which is expected to learn to vocalize like a human infant.

In developmental psychology, it is suggested that an infant develops it through verbal interaction with caregivers by observation experiments [Bates 95]. However, what kind of underlying mechanism works for that and how caregiver's behavior affects on this process has not been fully investigated yet since it is very difficult to control the infant vocalization. On the other hand, there are several constructive approaches to understand the mechanisms by using infant robots with abilities equivalent to those of human infants, as a controllable platform [Asada 09].

Sasamoto et al. suggest a vocal robot as a platform for constructive investigation of the developmental process of vocalization [Sasamoto 13]. Unlike speech conversion and articulation simulators or speech synthesis, robotic platforms have advantages in terms of realtimeness, consonant vocalization by means of flow-acoustics, and interaction with humans. They actually built an infant-like vocal robot that mimics the anatomical shape of the articulator of human infant, and showed that its vocal cords and vocal tract could vocalize vowels in the same range of formant frequencies as that of human infant. However, the driving mechanism could not vocalize the same range because it did not comprise enough degrees of freedom (4-DOFs for tongue, 1-DOF for jaw, 1-DOF for soft palate).

On the other hand, vocal robots which have many degrees of freedom for articulation and can vocalize as well as human adults have been developed [Fukui 10, Sawada 08]. Particularly, Fukui et al. [Fukui 10] developed the vocalization robot WT-7RII which could vocalize not only vowels but also consonants by controlling many degrees-of-freedom (7-DOFs for tongue, 1-DOF for jaw, 1-DOF for soft palate, 5-DOFs for lip). However, this robot focused on reproduction of adults' utterance instead of infants'. Between adults and infants, the size of the articulator is different, which is closely related to the difference in their vocalization. Therefore, in order to reproduce infants' vocalization by means of many degrees of freedom (like WT-7RII), the problem of miniaturiza-

tion has to be solved. Figure 1 shows the comparison of the sizes of the robots).

In this study, aiming at reproducing the infant vocalization, we miniaturized the articulation mechanism of WT-7RII, and developed a new infant-like vocal robot named "Lingua". This paper describes the design of its articulation mechanism and preliminary experiments.

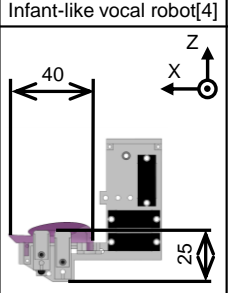
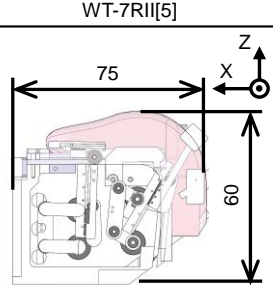
	Infant-like vocal robot[4]	WT-7RII[5]
Size		
DOF	4	7

Fig. 1 Size of articulation mechanism and degrees of freedom of the robots

2 Design of the articulation mechanism

2.1 Overview

Figure 2, 3, and 4 show Ligua's overview, DOF configuration, the mechanism of the vocal tract, and the mechanism of the vocal cords. This robot consists of a lung, vocal cords, and a vocal tract. The lung and the driving mechanism of the vocal cords are those of WT-7RII. We used the same vocal cords made from soft material as for the infant-like vocal robot by Sasamoto et al. [Sasamoto 13]. The following explains the design of the tongue which is compact as well human infant and has many degrees-of-freedom.

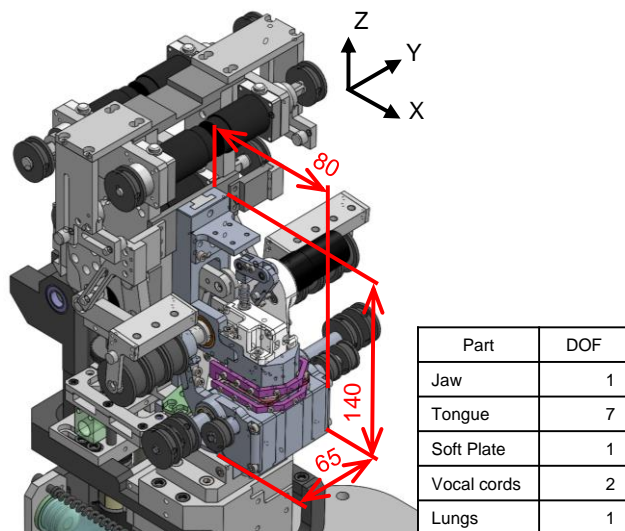


Fig. 2 Lingua's overview and DOF configuration

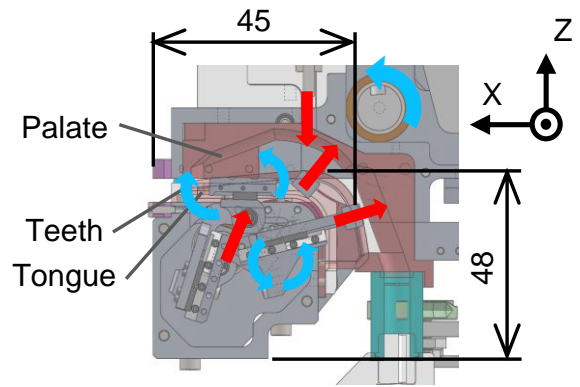


Fig. 3 Lingua's vocal tract

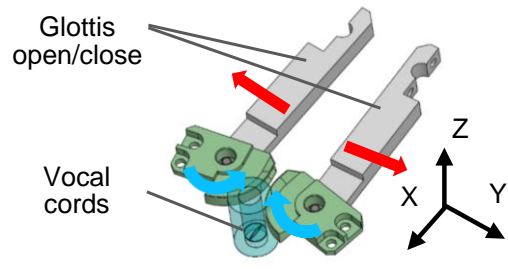


Fig. 4 Lingua's vocal cords mechanism

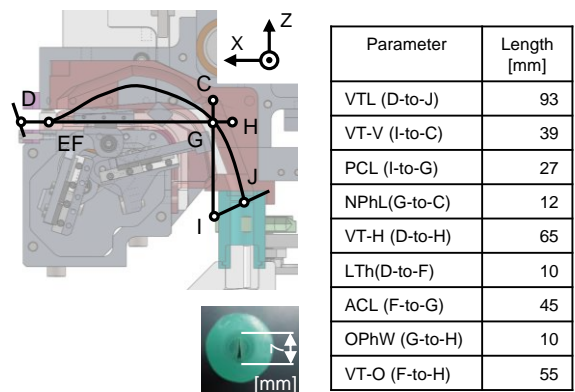


Fig. 5 Structural properties of the vocal cords and tract of Lingua. Parameters of the vocal tract correspond to those of anatomical data [Vorperian 09]

2.2 Requirements of the infant-like articulators

It is known that the sizes of articulators such as vocal cords and tracts influence acoustic features of its vocalization. The shapes of vocal cord [Eckel 99] and vocal tract [Vorperian 09] change with the growth. It is therefore necessary to consider the changes in order to understand infant's vocal development [Mugitani 12]. Therefore, we set these anatomical dimensions as a requirement specification (Figure 5). The widths of the tongue and oral cavity are decided as 15 mm and 30 mm based on a report in which changes in infant's teeth row were measured [Hayama 99].

2.3 Miniaturization of the tongue mechanism

The tongue mechanism consists of 7-DOFs that combine rotational and linear movement (Figure 6). We downsized the linkage mechanism which connects them. The linkage of WT-7RII's tongue consisted of plural shafts by parallel and slider cranks, but we minimized the parallel crank by adopting a coaxial mechanism for it (Figure 7).

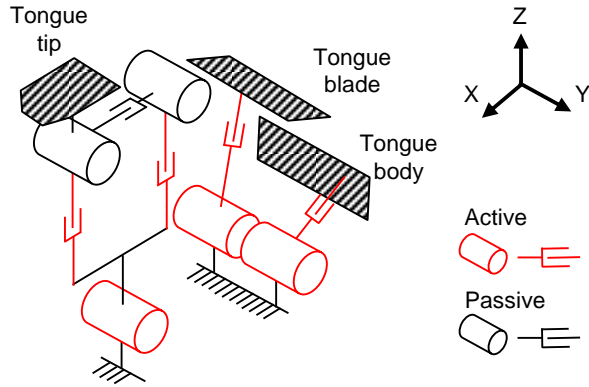


Fig. 6 DOF configuration of Lingua's tongue

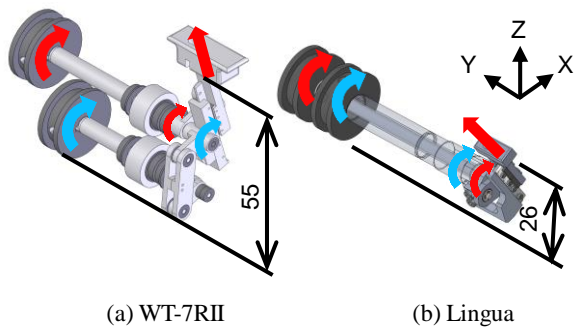


Fig. 7 Comparison of the link mechanisms

2.4 Miniaturization of the arrangement of the tongue mechanism

The movable range of each linkage tip was determined based on simulation results of infants' 3 vowels utterances (/a/, /i/, /u/) by a VLAM articulation simulation [Boë 13] (Figure 8). The red lines in the figure are the tips of the linkages of the tongue tip, tongue blade, and tongue body. The layout and dimensions of the linkage were determined based on the range calculated by inverse kinematics. Figure 9 shows the arrangement of the linkages.

2.5 Strength of the mechanism

The surface of the tongue was molded in silicone rubber. The linkages are put loads when they drives the surface. We had to save enough yield strength for reciprocating articulatory movements.

Figure 10 shows the deformation of the surface of the tongue blade. We regarded the surface as an elastic element and represented it by a model in which a spring is connected to a slider crank (Figure 11).

We calculated the elastic coefficient of the tongue based on measuring its stretching when exposed to external load. Then, we designed the mechanical parts such that the minimum yield safety ratio could be 5 by using FEM. Hence, the linkages have enough strength against reciprocating articulatory movements.

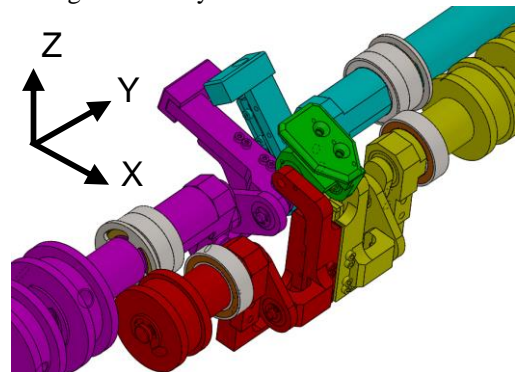


Fig. 9 Overview of the tongue mechanism

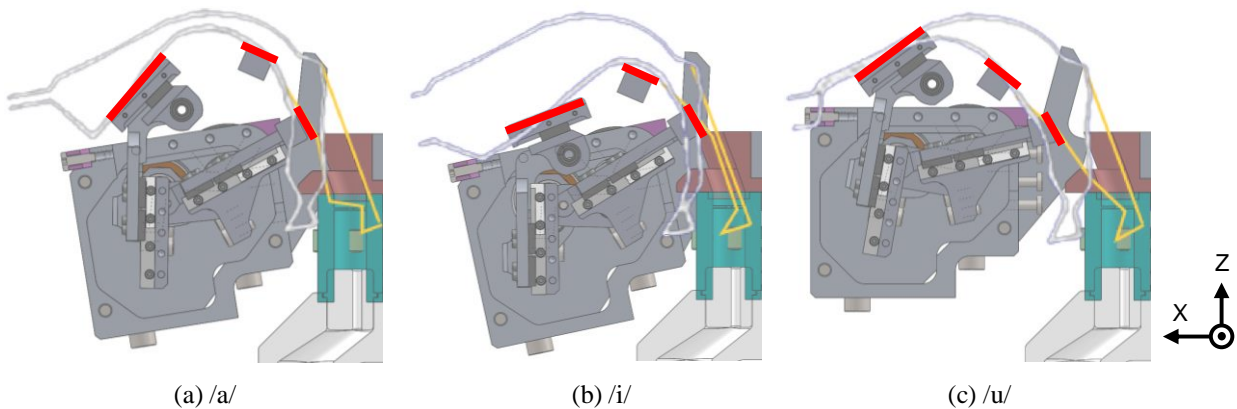


Fig. 8 Lingua's articulation imitating VLAM simulated vocal tract shapes for a 7-month-old child uttering /a/, /i/ and /u/ (yellow lines indicate shapes corrected the angle of the neck)

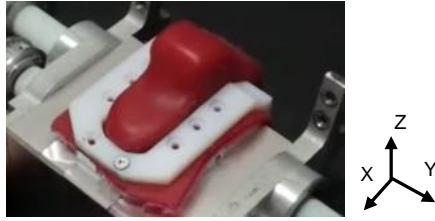


Fig. 10 Deformation of the tongue made of soft material by the tongue blade linkage

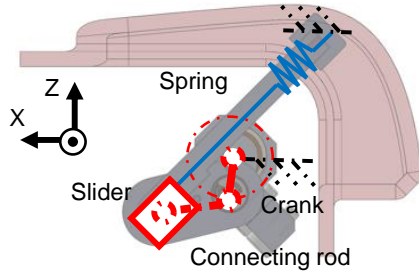


Fig. 11 Spring and linkage model of the tongue blade mechanism.

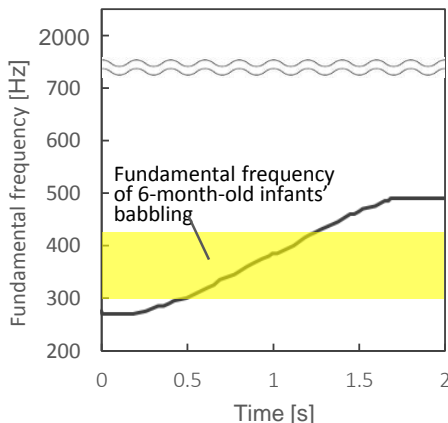


Fig. 12 Result of the fundamental frequency measurement

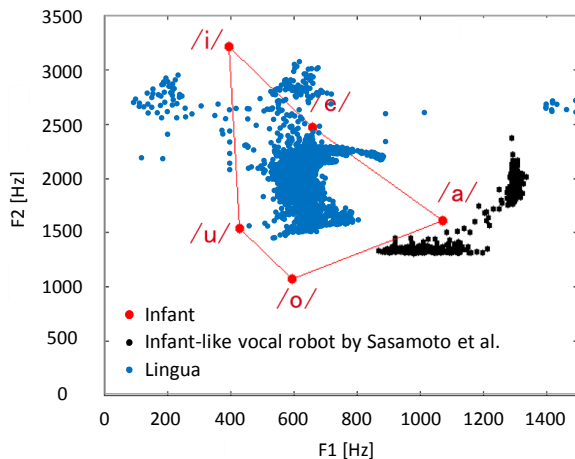


Fig. 13 F1-F2 space of the robot during vocalization

3 Preliminary evaluation

3.1 Fundamental frequency

We conducted preliminary experiments to validate that the vocal cords mechanism and tongue mechanism developed could vocalize as well as human infants. We measured the fundamental frequency and the formant frequencies of the robot and compared them with those of infant.

The fundamental frequency of human infants is generally regarded as from 200 Hz to 2000Hz. Figure 12 shows the temporal change in the fundamental frequency when the vocal cords mechanism changes the tension of the vocal cords. This indicates the fundamental frequency of the robot lies within the range of human infant. Particularly, it fills a fundamental frequency of babbling [Whalen 93] which plays a important role in vocal acquisition.

3.2 Formant frequencies

We drove each linkage of the tongue and the jaw manually, and measured formant frequencies of Lingua's vowel vocalization. Figure 13 draws the result, that of the infant-like vocal robot made by Sasamoto et al. [Sasamoto 13], and infants' vowel utterance [Kasuya 68] in F1-F2 space. While the robot by Sasamoto et al. could vocalize in the space far from infants, Lingua could vocalize in the similar space to it.

In this experiment, all of the configuration space was not fully examined. Near future, we will examine all of the configuration space.

4 Conclusion

In this article, we described the design of the articulation mechanism of the infant-like vocal robot "Lingua" towards natural conversation with people@home. Preliminary evaluation shows Lingua's ability to vocalize the vowels as well as human infant. In the future, we will develop the lip mechanism and examine the vocalization performance of the overall mechanism for vowels and consonants. We also aim to reproduce crying and babbling. Moreover, we will conduct interaction experiments between the robot and a caregiver in order to investigate how infants' vocalization develops.

Acknowledgments

This work was partially supported by the MEXT Grant-in-Aid for Specially Promoted Research (24000012), and the MEXT project "Creating Hybrid Organs of the future" at Osaka University.

We appreciate the provision of WT-7RII by Atsuo Takanishi Laboratory and Masaaki Honda Laboratory at Waseda University.

References

[Asada 09] Asada, M., Hosoda, K., Kuniyoshi, Y., Ishi-

- guro, H., Inui, T., Yoshikawa, Y., Yoshida, C.: Cognitive developmental robotics: A survey, *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 1(1), 12--34 (2009).
- [Bates 95] Bates, E., Dale, P. S., Thal, D. : Individual differences and their implications for theories of language development. *The handbook of child language*, 96--151 (1995).
- [Boë 13] Boë, L. J., Badin, P., Ménard, L., Captier, G., Davis, B., Macneilage, P., Schwartz, J. L. : Anatomy and control of the developing human vocal tract: A response to Lieberman. *Journal of Phonetics*, 41(5), 379--392 (2013).
- [Eckel 99] Eckel, H.E., Koebke, J., Sittel, C., Sprinzl, G.M., Pototsching, C., Stennert, E. : Morphology of the human larynx during the first five years of life studied on whole organ serial sections. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 108(3), 232--238 (1999).
- [Fukui 10] Fukui, K., Kusano, T., Mukaeda, Y., Suzuki, Y., Takanishi, A., Honda, M.: *Speech Robot Mimicking Human Articulatory Motion*. *Proceedings of INTERSPEECH 2010*, 1021--1024 (2010).
- [Hayama 99] Hayama, Y., Sugimura, K., Yang, J., Shinji, H., Uchimura N. : Study on the Development of the Dental arch from the Pre-dental phase until the Deciduous Dentition. *The Japanese Journal of Pediatric Dentistry*, 37(3), 559--572 (1999).
- [Kasuya 68] Kasuya, H., Suzuki, H., Kido, K. : Changes in pitch and first three formant frequencies of five Japanese vowels with age and sex of speakers. *Journal of the Acoustical Society of Japan*, 24(6), 355--364 (1968).
- [Mugitani 12] Mugitani, R., Hiroya, S. : Development of vocal tract and acoustic features in children. *Acoustical Science and Technology*, 33(4), 215--220(2012).
- [Chen 12] Chen, X., Stone, P., Sucar L. E., van der Zang, T. (Eds.) : *RoboCup 2012: Robot Soccer World Cup XVI*. Springer (2013).
- [Sasamoto 13] Sasamoto, Y., Nishijima N., and Asada M.: Towards understanding the origin of infant directed speech: A vocal robot with infant-like articulation. *Proceedings of the IEEE Third Joint International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics* (2013).
- [Sawada 08] Sawada, H., Kitani, M., Hayashi, Y.: A robotic voice simulator and the interactive training for hearing-impaired people. *Journal of biomedicine & biotechnology*, 2008, 768232 (2008).
- [Vorperian 09] Vorperian, H.K., Wang, S., Chung, M.K., Schimek, E.M., Durtschi, R.B., Kent, R.D., Ziegert, A.J., Gentry, L.R.,: Anatomic development of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125, 1666 (2009).
- [Whalen 93] Whalen, D. H., Levitt, A. G., Smorodinsky, I., Hsiao, P. L. : Intrinsic F0 in the babbling of infants at ages 6, 9, and 12 months. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94(3), 1882--1883 (1993).

RoboCup サッカーにおける SIRMs ファジィシステムを用いたログからの行動評価

Evaluation of Actions using SIRMs for RoboCup Soccer

三船 哲史^{*1}, 中島 智晴^{*1}, 秋山 英久^{*2}, 関 宏理^{*3}

Satoshi MIFUNE^{*1}, Tomoharu NAKASHIMA^{*1}, Hidehisa AKIYAMA^{*2}, Hirosato SEKI^{*3}

大阪府立大学^{*1}, 福岡大学^{*2}, 関西学院大学^{*3}

Osaka Prefecture University^{*1}, Fukuoka University^{*2}, Kwansai Gakuin University^{*3}

satoshi.mifune@cs.osakafu-u.ac.jp, tomoharu.nakashima@kis.osakafu-u.ac.jp

akym@fukuoka-u.ac.jp, seki@kwansai.ac.jp

Abstract

Evaluation of action chains using Single-Input Rule-Modules (SIRMs) fuzzy models is studied in this paper. An action chain is a series of elemental actions such as pass, dribble, and shoot. The aim of using SIRMs fuzzy models is to learn good strategies from existing strong teams. In the training process, training patterns for the SIRMs fuzzy model are generated from game logs that are produced after the games of the target team. The results by the numerical experiments show that the proposed method improves the performance of our team.

1 はじめに

ロボット工学と人工知能の領域横断型研究プロジェクトとして RoboCup が知られている。RoboCup には様々なリーグが存在しており、それぞれの特徴を生かした研究、開発が行われている。RoboCup サッカーでは、競技で勝利することが重要視され、ただ単に勝利するだけではなく、賢く安定して勝利することが望まれる。そのためには、チーム全体でどのような戦術を取るかが重要である。高度な戦術を取るためには、プレイヤーが状況に応じた的確な行動選択を行うことが必要である。本論文では、RoboCup サッカー 2D シミュレーションにおいて、単一入力ルール群 (Single Input Rule Modules : SIRMs) ファジィシステム [1] を用いたログからの行動評価方法を提案する。

本研究室で開発を進めているチームは、開発者の調整の繰り返しによって定められたパラメータにより行動の良し悪しを評価している。そのため、適切な評価に基づいた行動選択ができていない可能性がある。また、提案手法において、手動による調整ではコストや性能に限界がある。

そこで、世界大会上位チームの試合ログを模範とする行動選択ができるようにする。評価システムとして、SIRMs ファジィシステムを用いる。数値実験では、SIRMs ファジィシステムによる評価を組み込んだチームと組み込まないチームそれぞれで試合を行い、ペナルティエリアへの侵入回数を比較する。

2 RoboCup

RoboCup は、ロボット工学と人工知能の発展が目的の自律移動型ロボットによるサッカーなどを題材とした研究プロジェクトである。RoboCup には「西暦 2050 年までに、サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる自律型ロボットチームを作る」という目標があり、この目標に向けて盛んに研究が行われている。RoboCup にはサッカー以外にも、大規模災害への対応のシミュレーションや災害現場で活躍するロボットの開発を促進するレスキューリーグ、次世代のロボット技術者育成を目的としているジュニアリーグなど、複数のリーグが存在する。本論文では、RoboCup サッカーシミュレーションリーグを研究の対象とする。

シミュレーションリーグはこの研究プロジェクトの立ち上げ当時から存在する最も古いリーグの 1 つである。サッカーシミュレーションでは、実機を使用せずに、コンピュータ内に用意された仮想フィールド上でサッカー競技を行う。サッカーシミュレーションには 2D リーグと 3D リーグがある。Figure 1, 2 に 2D リーグと 3D リーグの試合の様子を示す。

2D リーグでは、基本的な動作 (キックやドリブルなど) はコマンドとして実装されている。そのため 2D リーグでは高レベルな意思決定を主な研究対象としている。一方、3D リーグでは、エージェントはヒューマノイドロボットで形成されているため、基本的な動作を関節から制御する必要があり、基本的な動作が非常に重要である。本論文では 2D リーグを扱う。2D リーグでは、二次元平面を仮想

サッカーフィールドとし、円形のエージェントをプレイヤーとして競技を行う。また、プレイヤーやボールの位置と速度は全て二次元ベクトルとして表される。各プレイヤーはそれぞれ独立したエージェントとしてプログラムされており、制限された視覚情報や聴覚情報からドリブルやパス等の行動を選択する。

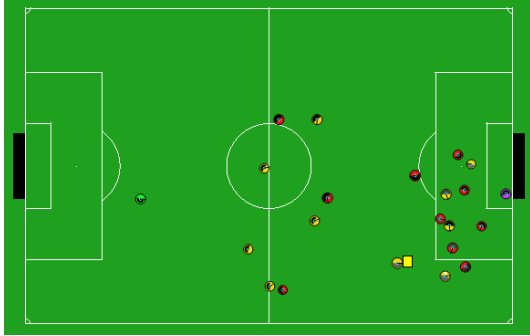


図 1: 2D Simulation League



図 2: 3D Simulation League

3 行動選択

チームを強くするためには、各プレイヤーが的確に行動を選択する必要がある。プレイヤーの行動選択方法について説明する。

3.1 行動探索

本論文で使用するプレイヤーは、行動連鎖と呼ばれる木構造を探索することで行動選択を行う [2]。行動連鎖の例を Figure 3 に示す。探索は以下に示す最良優先探索に基づく。Figure 3 において、丸で囲まれた数値は行動を行ったときの評価値である。初期状態からドリブルを選択した場合、評価値 30 が与えられる。また、ドリブルの後にパスを選択すると、評価値 35 が与えられる。

最良優先探索に基づいて行動連鎖を生成する手順は以下のとおりである。まず、プレイヤーの現在の状態をルート

ノードに入力する。次に、ノードに入力された状態において実行可能な行動の候補 (パス, ドリブル, シュートなど) を生成する。生成された行動に対して評価値を計算し、その行動を実行した場合の予測状態と共に子ノードに追加する。ノードが追加されるたびに評価値が最大であるノードを選択し、そのノードにおける予測状態から再び実行可能な候補の行動を生成する。これを繰り返すことで、ノード数があらかじめ設定された最大値に達するまで探索木を成長させる。ただし、木の深さがあらかじめ設定した値を越える場合や、ノードの予測状態から行動が生成できない場合、行動連鎖の終了条件に設定されている行動 (シュート) が生成された場合は、その葉ノードでの子ノード生成は行わないものとする。構築された木構造の中からノード列をつなげると、行動連鎖が得られる。

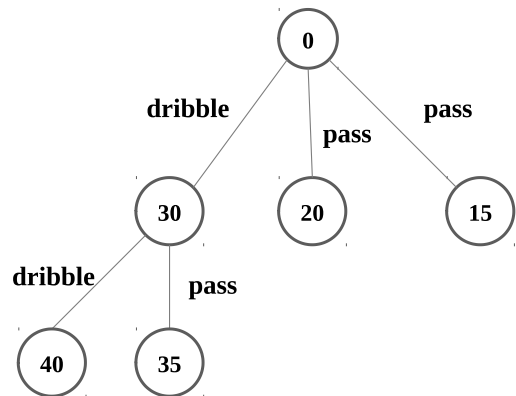


図 3: An example of action chains

3.2 行動評価

本研究室で開発を進めているチームでは、ゴールからの距離、ペナルティエリアへの侵入、サイド攻撃といった評価項目で評価値を算出している。それぞれの評価項目に対する点数は試合での調整の繰り返しによって定められている。そのため、適切な評価ができていないか不明である。また、手動による調整ではコストや性能に限界がある。そこで、行動の適切な評価を行うために、世界大会上位チームの試合ログにおける行動を模範とするような SIRM_s ファジィシステムのパラメータを獲得できるように学習を行う。

4 提案手法

本論文では、SIRM_s ファジィシステムを用いた学習を行う。SIRM_s ファジィシステムの概要と学習方法について説明する。

4.1 SIRM_s ファジィシステム

ファジィ推論の一つとして単一入力ルール群 (Single Input Rule Modules: SIRM_s) ファジィシステムがある。SIRM_s

ファジィシステムの概形を Figure 4 に示す．この手法では，各入力項目に対してルール群を用意する．ルール群は対応する入力項目だけが前件部変数に含まれる，1 入力のファジィルールで構成される．各ルール群には重視度と呼ばれる実数重みが割り当てられている．ルール群のファジィ推論結果の重視度付き総和を最終出力とする．SIRMs ファジィシステムは入力項目数が多い場合に，従来のファジィ推論モデルよりも大幅にファジィルール数とパラメータ数を削減することが可能であり，様々な制御問題へ応用されている．

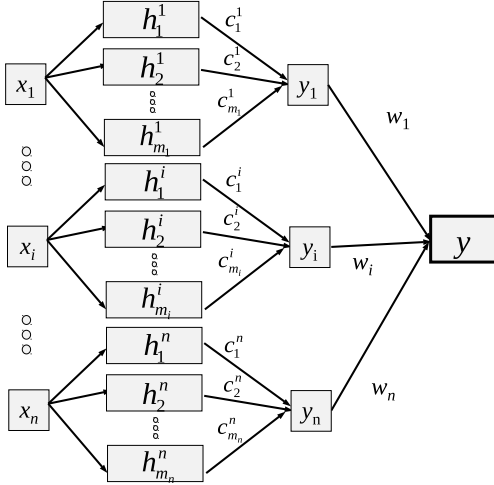


図 4: Overview of an SIRMs fuzzy model

Figure 4 において， $x_i (i = 1, \dots, n)$ は i 番目の入力項目に対応する前件部変数， $y_i (i = 1, \dots, n)$ はそのルール群の推論結果である． $h_j^i (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m_i)$ は i 番目のルール群における j 番目のルールの前件部適合度， $c_j^i (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m_i)$ は i 番目のルール群における j 番目のルールの後件部の実数出力値を意味する．また， $w_i (i = 1, \dots, n)$ は各入力項目の重視度， y は SIRMs ファジィシステムの最終出力を表す．入力が与えられたとき， h_j^i, y_i は以下の式で求められる．

$$h_j^i = A_j^i(x_i) \quad (1)$$

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} h_j^i \cdot c_j^i}{\sum_{j=1}^{m_i} h_j^i} \quad (2)$$

$A_j^i (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m_i)$ は i 番目のルール群における j 番目のルールの前件部変数 x_i のメンバシップ関数であり，以下の式のガウス関数とする．

$$A_j^i = \exp\left(-\frac{(x_i - a_j^i)^2}{b_j^i}\right) \quad (3)$$

最終出力 y は以下の式のようにルール群の推論結果の重視度付き総和として求められる．

$$y = \sum_{i=1}^n w_i \cdot y_i \quad (4)$$

本論文では，SIRMs ファジィシステムのパラメータの学習に最急降下法を用いる．最急降下法は，評価関数が最小値に収束するように各パラメータをベクトルの勾配の逆方向に探索していく手法である．学習するパラメータは，前件部変数のメンバシップ関数のパラメータ，後件部の実数出力値，および入力項目の重視度とする． p 番目の入力パターン (x_1^p, \dots, x_n^p) に対して，理想の出力が y^{Tp} ，実際の出力が y^{0p} であったとすると，評価関数 E^p を以下の式で表される．

$$E^p = \frac{1}{2}(y^{Tp} - y^{0p})^2 \quad (5)$$

式 (5) より，重視度 w_i ，後件部の実数出力値 c_j^i ，前件部変数のメンバシップ関数のパラメータ a_j^i と b_j^i の修正量は， t を現在の学習回数， $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ を学習係数とすると以下の式で求められる．

$$\Delta w_i(t+1) = \alpha \cdot (y^{Tp} - y^{0p}) \cdot y_i(t) \quad (6)$$

$$\Delta c_j^i(t+1) = \beta \cdot w_i(t) \cdot (y^{Tp} - y^{0p}) \cdot \frac{h_j^i(t)}{\sum_{j=1}^{m_i} h_j^i(t)} \quad (7)$$

$$\Delta a_j^i(t+1) = \gamma \cdot w_i(t) \cdot (y^{Tp} - y^{0p}) \cdot (c_j^i(t) - y_i(t)) \cdot \frac{h_j^i(t)}{\sum_{j=1}^{m_i} h_j^i(t)} \cdot \frac{2 \cdot (x_i^p - a_j^i(t))}{b_j^i(t)} \quad (8)$$

$$\Delta b_j^i(t+1) = \eta \cdot w_i(t) \cdot (y^{Tp} - y^{0p}) \cdot (c_j^i(t) - y_i(t)) \cdot \frac{h_j^i(t)}{\sum_{j=1}^{m_i} h_j^i(t)} \cdot \left(\frac{x_i^p - a_j^i(t)}{b_j^i(t)}\right)^2 \quad (9)$$

4.2 SIRMs ファジィシステムへの学習

提案手法では，ペナルティエリアにボールを持ち込むことができた一連の行動を成功エピソードと定義する．SIRMs ファジィシステムの入力として，現在のプレイヤーの x 座標， y 座標，目標点の x 座標， y 座標，目標点と目標点から最も近い敵プレイヤーとの距離の 5 つを用いる．現在のプレイヤーと目標点の座標はフィールドサイズ+10 が 1.0 となるように $[-1.0, 1.0]$ の範囲に正規化した．目標点と目標点から最も近い敵プレイヤーとの距離は 30 が 1.0 とな

るように $[0.0, 1.0]$ の範囲に正規化した．入力情報の例を Figure 5 に示す．Figure 5 において， x_1, y_1 はパスを出すプレイヤーの x 座標， y 座標， x_2, y_2 はパスを受け取るプレイヤーの x 座標， y 座標， $dist$ はパスを受け取るプレイヤーとそのプレイヤーに最も近い敵プレイヤーとの距離であり，これらが SIRM_s ファジィシステムへの入力となる．

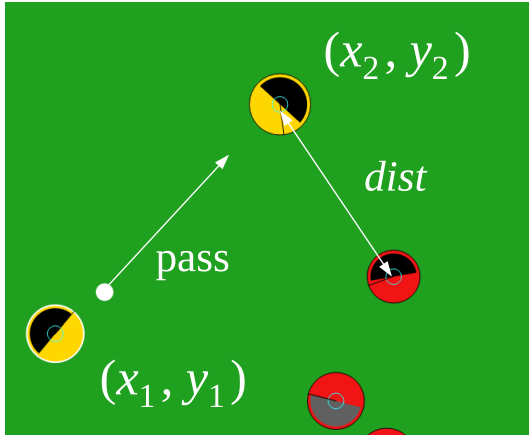


図 5: Elements of an input vector to the SIRM_s fuzzy model

各入力項目に 5 個のガウス型メンバシップ関数を用意し，初期のガウス型メンバシップ関数を隣同士がグレード 0.50 で交差するように設定する．また，後件部実数値の初期値をすべて 0.00 とする．各入力項目の重視度の初期値を 0.25 に設定する．教師信号を成功エピソード中の行動に対しては 1，その他のエピソード中の行動に対しては -1 とする．世界大会上位チームの試合ログからパスやドリブルといった行動を取り出し，成功エピソードとその他のエピソードに分け，入力情報と教師信号を付加した学習用データとする．

4.3 行動の評価

学習を終えた SIRM_s ファジィシステムを用いて行動評価する．プレイヤーの x 座標， y 座標，目標点の x 座標， y 座標，目標点と目標点から最も近い敵プレイヤーとの距離の 5 つを SIRM_s ファジィシステムに入力し，出力値を算出する．試合中に各プレイヤーが実行可能な行動の候補に対して SIRM_s ファジィシステムの出力値を計算し，行動の評価値として使用する．プレイヤーが実行可能な行動の候補に対する SIRM_s ファジィシステムの出力値が 0 より大きいものがない場合，既存の評価関数を用いて行動を評価し，行動を選択する．

4.4 予備実験

学習用データや学習係数 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ について予備実験を行い，決定した．

予備実験では，学習用データとして HELIOS2013 [2] 対 agent2d [3] の 100 試合分のログを用いる．HELIOS2013

は RoboCup2013 準優勝チームである．また，agent2d はオープンソースのチームであり，多くのチームのベースチームとして用いられている．入力情報に対する SIRM_s ファジィシステムの出力値が 0 より大きければ，成功エピソード中の行動，0 より小さければその他のエピソード中の行動と識別する．10-fold cross validation により，識別率を調査した．

4.4.1 学習用データ

予備実験では，SIRM_s ファジィシステムの入力として，現在のプレイヤーの x 座標， y 座標，目標点の x 座標， y 座標の 4 つを用いた．学習係数 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ ，教師信号を変化させながら学習を行った．ほとんどの行動がその他のエピソード中の行動と識別され，成功エピソード中の行動とその他のエピソード中の行動を上手く識別することができなかった．そこで，識別率を高めるために学習用データを変化させながら識別率を調査した．学習用データに以下の変更を加えた．

まず，入力情報に目標点と目標点から最も近い敵プレイヤーとの距離を加えた．これは，現在のプレイヤー位置と目標点と同じであっても，敵の位置によって成功エピソード中の行動，その他のエピソード中の行動の両方が存在するので，上手く識別できなかったのではないかと考えたためである．次に，ボールをキープしているときのキックなどの識別しにくい行動を学習用データから除外した．また，ドリブルは敵を避ける行動などゴール方向に進まないものが多く，プログラムの作り込みが重要であるので，学習用データからドリブルを除外し，パスのみとした．学習用データにこれらの変更を加えたとき最も識別率が高かった．

4.4.2 学習係数

学習係数 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ をそれぞれ 0.10, 0.10, 0.01, 0.01，教師信号を成功エピソード中の行動に対しては 1，その他のエピソード中の行動に対しては -1 とする．全ての学習係数を 1/10 倍，1/100 倍，1/1000 倍して識別率を調査した．識別率を Table 1 に示す．Table 1 より，学習係数を 1/100 倍したとき識別率が最も高いと分かる．したがって，本研究の実験において SIRM_s ファジィシステムに用いる学習係数 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ をそれぞれ 0.001, 0.001, 0.0001, 0.0001 とする．

表 1: Various sets for learning rates
($\alpha=0.10, \beta=0.10, \gamma=0.01, \eta=0.01$ を 1 とする)

学習係数の倍率	成功	その他	全て
1	0.6798	0.3356	0.5709
1/10	0.3640	0.7618	0.4898
1/100	0.8472	0.2524	0.6590
1/1000	0.8545	0.2073	0.6497

5 数値実験

数値実験では、提案手法を組み込んだ opuSCOM と組み込まない opuSCOM を比較する。opuSCOM は本研究室で開発を進めているチームであり、昨年の JapanOpen では 5 位という結果に終わった。opuSCOM はドリブルによるサイド突破を中心としているチームである。RoboCup サッカー 2D シミュレーションでは、試合における各サイクルのボールとすべてのプレイヤーの位置、実行した行動がログに記録される。ログから行動を抽出するために、本実験におけるパスの定義を示す。連続するキックの中で、次にキックするプレイヤーが、キックしたプレイヤーと同じチームの異なるプレイヤーである場合はパスと定義する。ドリブルは敵から避ける行動などゴール方向に進まないものが多く、プログラムの作り込みが重要である。そのため、学習用データからドリブルを除外し、パスのみとする。予備実験と同様に学習用データとして、HELIOS2013 対 agent2d の 100 試合分のログを用いる。例として、学習用データ 1 試合分のパスの軌跡を Figure 6 に示す。赤い線が成功エピソード中のパス、青い線はその他のエピソード中のパスである。ボールを奪われにくい後ろへのパスを選択し続け、敵フィールドへ侵入しないといった状況避けるために、SIRMs ファジィシステムでの行動評価を適用するのは敵フィールド上のみとする。SIRMs ファジィシステムによる評価を組み込んだチームと組み込まないチームそれぞれで試合を実行し、ペナルティエリアへの侵入回数、試合中の行動、ボール支配率について調査する。試合は、JapanOpen2013 に出場した 5 チーム、agent2d と 100 試合ずつ行う。

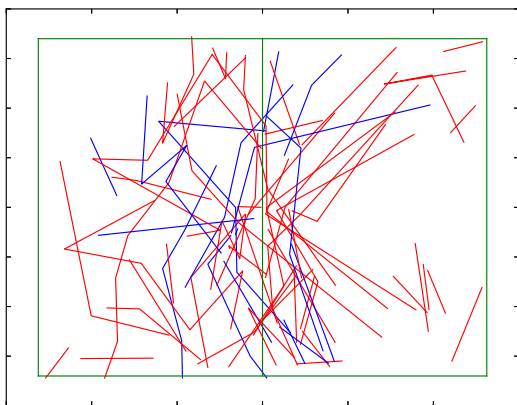


図 6: Successful/unsuccessful passes that are used as the training patterns of the SIRMs learning

6 実験結果

提案手法を組み込んだ opuSCOM と提案手法を組み込まない opuSCOM それぞれを、JapanOpen2013 に出場した 5 チーム、agent2d と 100 試合ずつ対戦させた。提案手法を組み込んだチームの試合と組み込まないチームの試合に

おけるペナルティエリアへの侵入回数を調査した。Table 2 にペナルティエリアへの侵入回数を示す。

表 2: The number of episodes that led the ball to the opponent's penalty area

対戦相手	提案手法なし	提案手法あり
agent2d	1327	989
A_TSU_BI-	712	418
HillStone	973	699
KU_BOST	886	693
ThinkingAnts	833	454
Ri-one2013	978	527

Table 2 より、提案手法を組み込むと、ペナルティエリアへの侵入回数が減少したことが読み取れる。提案手法を組み込んだチームではパスの学習により、敵フィールドでのパス回しが多くなり、攻撃にかかる時間が増加した。また、提案手法を組み込まないチームでは、ペナルティエリアに侵入する行動に非常に大きな評価値が与えられるので、無理矢理ペナルティエリアにボールを入れる行動を選択をすることがある。そのため、提案手法を組み込んだチームでは、提案手法を組み込まないチームに比べてペナルティエリアへの侵入回数が減少したと考えられる。

次に、提案手法を組み込んだチームと組み込まないチームの試合における行動を比較すると、スルーパスの回数に変化が見られた。スルーパスとは、誰もいないスペースへパスを出し、そこに味方プレイヤーが走り込み、受け取るものであり、決定的なチャンスに繋がりがやすい。スルーパスの例を Figure 7 に示す。Figure 7 において、右が攻撃方向である。スルーパスを出すことで 2 人の相手プレイヤーを抜きさることができる。本論文では、敵フィールド上でレシーバがパスを出されたときから、パスを受け取るまでに x 軸方向に 5m 以上走ったものをスルーパスと定義する。Table 3 にスルーパスの回数を示す。

表 3: The number of through passes

対戦相手	提案手法なし	提案手法あり
agent2d	172	461
A_TSU_BI-	327	378
HillStone	682	580
KU_BOST	310	403
ThinkingAnts	174	314
Ri-one2013	1024	1135

Table 3 より、提案手法を組み込むと、5 つのチームに対してスルーパスの回数が増加していることが分かる。特に学習用データの相手チームであった agent2d に対しては大幅に増加していることが読み取れる。学習用データにおけるエピソードの総数、スルーパスを含むエピソードの数を成功エピソードとその他のエピソードに分けて Table 4 に示す。

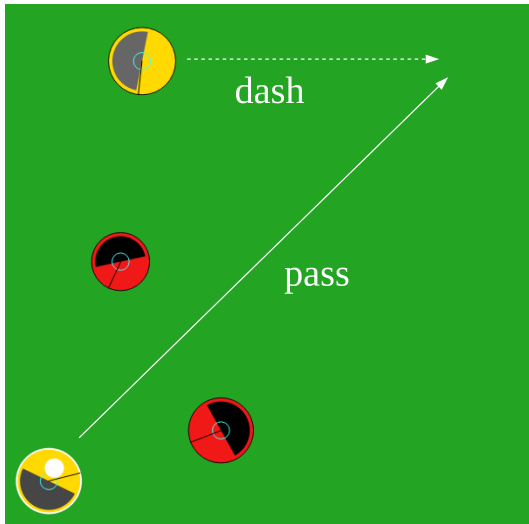


図 7: An example of through passes

表 4: The number of episodes in training patterns

	成功	その他
エピソードの総数	1592	1083
スルーパスを含むもの	1165	107

Table 4 より, 成功エピソードの 73% がスルーパスを含んでいることが読み取れる. また, スルーパスを含むエピソードの 92% が成功エピソードであることがわかる. このことから, スルーパスは成功エピソードの特徴的な行動であることが分かる. また, 提案手法を組み込んだチームにおけるスルーパスの増加は, 提案手法によって成功エピソードを学習できたことを示していると考えられる.

次に, 提案手法を組み込んだチームと組み込まないチームのボール支配率を調査した. ボール支配率とは, ボールを保持している時間の割合である. 本論文では, ドリブルやパスを行っているときボールを保持していると定義する. 試合におけるボール支配率を Table 5 に示す.

表 5: Ball possession

対戦相手	提案手法なし	提案手法あり
agent2d	55.86	66.66
A_TSU_BI-	47.98	58.07
HillStone	48.31	54.87
KU_BOST	56.51	66.71
ThinkingAnts	47.49	58.72
Ri-one2013	61.15	68.91

Table 5 より, 全てのチームに対してボール支配率が向上していることが読み取れる. パスを学習したことにより, ドリブルでの無理な突破をせずにパス回しをすることが多くなり, 敵にボールを奪われる回数が減ったためだと考えられる.

7 おわりに

本論文では SIRM_s ファジィシステムを用いて世界大会上位チームの試合ログを学習し, その出力値による行動評価について調査した. 実際に提案手法を組み込んだチームで試合を行った. 学習用データの成功エピソードを学習できたことを示した. ペナルティエリアへの侵入回数は減少したが, スルーパスの回数, ボール支配率など違う観点から見るとチームの性能が向上した. 今後の課題としては, スルーパス後などの状況に合わせた評価により, ペナルティエリアへの侵入回数を増やすこと, 様々な相手チームに対応できるような評価などが挙げられる.

参考文献

- [1] 湯場崎直義, 易建強, 廣田薫, “複数入力ファジィ制御のための単一入力ルール群結合型ファジィ推論モデルの提案” 日本ファジィ学会誌, Vol.9, No.5, pp.699-709, 1997.
- [2] Hidehisa Akiyama, Tomoharu Nakashima, Katsuhiko Yamashita, HELIOS2013 Team Description Paper, *RoboCup2013*, CD-ROM(6 pages), Eindhoven, The Netherlands, (2013)
- [3] 秋山英久, *RoboCup サッカーシミュレーション 2D 必勝ガイド*, 秀和システム, 2006.

大規模マイクロシミュレーションによる サッカー試合評価のためのクラスタとその実装 Massive Microscopic Soccer simulation and RoboCup soccer simulation cluster

西野順二*、長岡俊男、秋山英久†

Junji NISHINO, Toshio NAGAOKA, Hidehisa AKIYAMA
nishinojunji@uec.ac.jp

Abstract

In this paper we introduce a novel analysis model MakeDrama that describe whole game situation and multi agent system performance. To analyze robocup soccer simulation games using MakeDrama model aspect, we construct RoboCup soccer simulation cluster system. The experimental results with 100 times simulations of Robocup 2013 teams had done and show these games character that can not be indicate from simple statically analysis.

1 はじめに

ロボカップサッカーリーグの目的はマルチエージェント協調を試合対戦のなかで評価することで知的行動アルゴリズムの発展をすすめることである。ところで、その試合の勝敗結果にはどのような意味があるだろうか。二つの人工チームが対戦してサッカーとしての得失点差を比較することはそれぞれのチームのアルゴリズムの善し悪しとどのように関係しているだろうか。そもそも何試合を行なえばその結果の信頼性を担保できるのであろうか。

本発表の目的はエージェントシミュレーションによる試合評価についてのモデルを提案し、またその演算のためのクラスタシステムの構築について報告することである。

意外なことに、こうした試合結果の構造的な意味についての検討はほとんどなされていない。チームアルゴリズムの評価の視点から、実機も含め一つのロボカップサッカー試合は広義のシミュレーションである。これに対し、本稿では Make Drama モデルを提案し、その基本的な性質について思考実験にもとづき考察する。さらに大規模

マイクロシミュレーションを行うことで、試合評価への定量的なアプローチについて検討する。

大規模マイクロシミュレーションは、試合結果を計算するためマクロな統計的手法によらず、ミクロなエージェントモデルによるシミュレーションを多数積み重ねる手法である。近年の計算機シミュレーション技術の向上とあいまって、社会シミュレーション分野での人口動態の予想[稲垣 10]など様々な研究が行なわれている。

ロボカップサッカーシミュレーションはボールの転がりなど不確定要素を含んだ物理シミュレーションと各々の戦略決定アルゴリズムをもつクライアントの相互作用によって進展する。この枠組み自体はマイクロシミュレーション技術と同等である。しかしながら、大会では時間の制約もあることから、数回の対戦でチーム間のアルゴリズム同士の優劣を決定している。とくに同一チームでの対戦はほとんどの場合において1度きりである。

実際のところ二つのチームの対戦結果は確率的な要素と、多くの構造的な変動要素を持ち、公式戦における1試合のみから優劣を決定することは困難である。線形比較の確率的試行では実力が均衡していても見かけ上差がついているように感じられることが麻雀についての勝敗シミュレーション[とつ 04]で示されている。また、アルゴリズムの改良効果を比較検討する際にも、複数の試合結果の総合的評価が欠かせない。そこで本論文では、同一チーム組み合わせについて試合評価を行なうため多数の試合を実行しその総合評価するためのクラスタを構築した。

2 ロボカップサッカー試合の MakeDrama モデル

11対11のロボット・人工エージェントとボール及び環境からなるサッカーの試合を考える。このとき粒度によって次の3レベルのモデルが想定できる。

1. エージェント毎のアルゴリズム 22体による分散シス

電気通信大学 (The University of Electro-Communications)
福岡大学 (Fukuoka University)

テムモデル

2. 連携したチームが 2 チームで対戦するゲームモデル
3. 全体一組で 1 つの対象物としてとらえたトータルシステムモデル

多くのロボカップ出場者はより強いアルゴリズム発見のため、1) または 2) のモデルで試合をモデル化および分析している。

本研究ではトータルに「試合」そのものの分析を目的として 3) の全体を 1 つのシステムとしてとらえるモデルを提案し、MakeDrama (Multi-Agent kinetic environment Dynamic random process analysis model) と呼ぶ事にする。

2.1 MakeDrama

MakeDrama モデルは、ロボカップサッカーのようなマルチエージェントによる対戦評価を、一つの試合ごとにその試合の総体として評価検討するパラダイムである。

このモデルは、人がマルチエージェントシステムの挙動を理解するときの認識を参考としている。日常生活において代表的なマルチエージェントシステムとして様々なチームスポーツを人が鑑賞・評価するとき、チームごとの分析はもとより総体としての試合そのものに対する評価がなされる。これは、いわゆる「いい試合だった」という言説に表される行動である。良い試合、良い組み合わせ、悪い試合、など競技者にとっては個々のチームの評価だけが重要であるなかで、一般の生活者から見たときにはこうした総体での認識評価が本質的と言える。

総体としてのサッカーの試合試合一組は、たとえば 2D サッカーシミュレーションリーグであれば、22 のエージェント $p_i(x_i, y_i)$ と 1 つのボール $b(x_b, y_b)$ からなる物理的な状態空間 $s = (p_1, \dots, p_{22}, b)$ と各々の戦略行動アルゴリズム $a_i \in A$ と状態の外乱要素 n により、試合時間 $0 \leq t \leq Lim$ の間の状態遷移

$$s(t) = f(s(t-1), A|n) \quad t \in [1, Lim] \quad (1)$$

として定義することができる。

ここでアルゴリズム集合 A を固定したとき $s(t)$ 全体の集合を S とすると、様々な試合局面はその部分領域 $S_j \subseteq S$ である[NIS04]。

試合全体の進展を表現する状態空間と状態遷移を図 1 に模式的に 2 次元で示す。中心が初期状態 $s(0)$ 、外周が試合終了時点の $s(t), t = Lim$ であり全プレイヤーの行動によって引き起こされる状態遷移を折れ線矢印で表示した。外周すなわち $t = Lim$ 時点で白い領域 $W \subset S$ の状態に行き着けば勝ち、黒い領域 $L \subset S$ では負けたことになる。途中の点線領域は得点 (ゴールシーン) である。

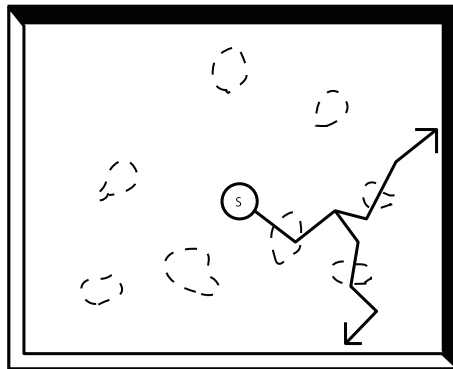


Figure 1: メイクドラマ状態空間： $t=Lim$ で外周に到達し黒領域は負け、白領域は勝ち

点線領域で示されたゴールシーンの配置状態が密であれば、試合展開に関わらずそこかしこで点数の入るゴールシーンリッチな状態空間を持つ熱戦となる。

このように試合全体を状態遷移としてとらえ、その状態遷移の結果として到達した外周点が試合の勝敗となる。この空間は、プレイヤーアルゴリズムによって生成された状態遷移によって特徴付けられる。この状態空間と遷移関数の傾向を精密に記述することができれば試合展開が分ったことになる。しかしながら一般にはこの状態空間の規模は非常に大きく、十分に記述する事は現実的ではない。

他の例として、図 2 で示された試合全体は、どのような遷移すなわち試合展開であったとしても最終的に負けであることが確定している。たとえば、実力差の大きなアルゴリズム同士の試合ではこのような状態空間を取り、チームマッチングの段階で決定していることになる。人が試合そのものの評価をしたときの、つまらないカード、ではこのような状態空間となっていると言える。

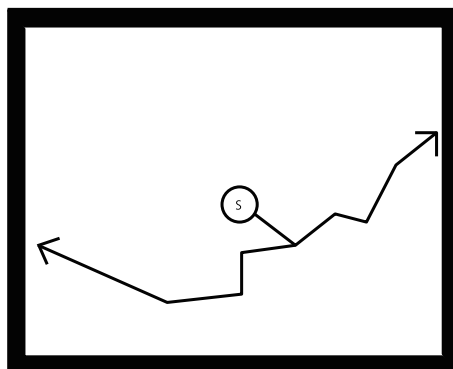


Figure 2: メイクドラマ状態空間 2: 外周が負け領域の黒のみであり、どのような試合展開でも勝ち目がない

図 3 で示された試合全体は、外周部の勝ち領域と負け領域が等量で細かく絡み合っている。このため、状態遷移の最終局面での些細な揺動で勝ちの白に入るか負けの黒に入るかが決定し、試合途中では優勢劣勢評価をすることが困難な状態空間である。二つのチームの力が均衡

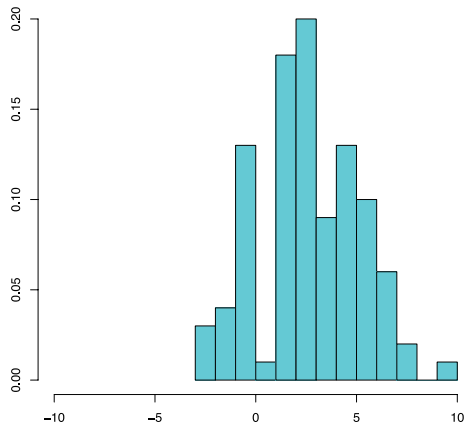


Figure 4: YuShan2013 対 Axiom の得点差分布 (YuShan - Axiom) 正側に寄っているため YuShan が優勢

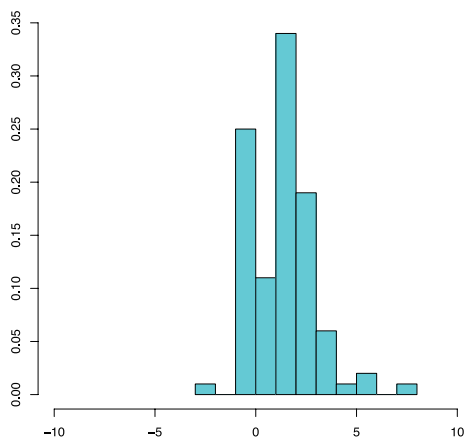


Figure 5: AUT 対 Cyrus の得点差分布 (Cyrus - AUT) 正側に寄っているため Cyrus が優勢

あると言える。このため得点差分布も広がっており、劣勢の Axiom 側でも 3 点差をつけて勝利することがあることが分る。世界大会上位チームということもありゴールの多い試合が豊富で観客の観点からは面白いカードであるといえる可能性がある。そのいっぽうで得点差 0、すなわち同点の試合の頻度が極端に少ない結果となっている。理由は不明で今後の検討が必要である。

AUT 対 Cyrus では世界大会順位と反して、図 5 に示したように、Cyrus が明らかに優勢である。平均得点も Cyrus 1.48 に対し AUT 0.49 であることから、実力は 7 位と 8 位とは逆であったと言える。平均得点から分るようにどちらも得点力が低いため、同点の試合が全体の 10 % を占めており YuShan 対 Axiom と比較してたしかに実力差が見えづらい対戦カードであると言える。

得点差分布はメイクドラマ空間の終端における勝ち状態と負け状態の分布を間接的に計測したものと見える。AUT 対 Cyrus 戦と Yushan 対 Axiom 戦についても、二つのカードを勝率で比較すると、Cyrus の勝率 76 %、Yushan 79 % とその差はほとんど見えないが、得点差分布でははっ

きり Yushan が Axiom より強い事が分る。

このことは、試合におけるエージェントアルゴリズムの評価は、個々のチームの勝率や得失点では測ることが難しく、試合全体の状態遷移を分析する必要があることを示している。

5 まとめと今後の課題

本稿では、ロボカップサッカーのような対戦型のマルチエージェントシミュレーションについて、試合全体を評価するという観点を指摘し、試合全体の状態空間とその遷移に着目した分析法について考察した。試合全体の状態空間としてメイクドラマ空間を提案し、思考実験から典型的な試合表現について示した。

また、大規模マイクロシミュレーションの観点から、試合全体の状態評価を実現するためのサッカーシミュレーションクラスタを構築した。このシステムで RoboCup 2013 出場チームを用いて大規模シミュレーションの実験を行い、100 試合を 17 分程度で行なえることを確認した。

多数の試合結果については単なる勝率ではなく、得点差分布などメイクドラマ空間と直結する評価法を用いることでより多様な試合の解釈評価ができることを確かめた。RoboCup 2013 では 7 位と 8 位の順位と実際のエージェントアルゴリズムの強度が逆転していたことを発見した。

大会では時間的制約から同一カードでは数試合しか実行できないが、本提案によれば統計的な意味ではなく、構造的な意味から多数の試合を行なって分析することが、協調アルゴリズムの真の優劣を決めることになる。

今後はより大規模なシミュレーションを行い、また試合展開を状態遷移としてとらえた分析法について実験検討することが課題である。

参考文献

- [NIS04] NISHINO, J.: Cooperative behavior of human players in simulated soccer, in *Proceedings of SCIS & ISIS*, pp. In CD-ROM, 2004.
- [とつ 04] とつぎ東北：科学する麻雀，講談社，2004.
- [稲垣 10] 稲垣誠一，金子能宏：日本のマイクロシミュレーションモデル INAHSIM の概要，一橋大学世代間問題研究機構ディスカッション・ペーパー，No. 468，2010.

連絡先

電気通信大学情報・通信工学専攻
西野順二

nishinojunji@uec.ac.jp

Arduino ボード用の3種のプログラミング言語を扱う 初心者向け作例集の試作

光永 法明 (大阪教育大学), 柘田 真輝 (大阪教育大学卒業)

Noriaki Mitsunaga and Masaki Masuda (Osaka Kyoiku University)

mitunaga@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

概要

Arduino は広く使われており、初心者にも勧められることも多いマイコンボードである。Arduino の標準的なプログラミング言語は Arduino 言語 (C++ 言語を基に変更・拡張した言語) である。また ArduBlock というブロックを並べて記述するビジュアルプログラミング言語、対話的にプログラムを制作できるインタプリタ言語 iArduino が利用できる。本報告では、それら3種の言語を扱う初心者向けの作例集を試作したので報告する。

1 はじめに

最近では、いわゆる電子工作にマイクロコントローラ (マイクロコンピュータともいわれる、以下マイコン) を利用することが多くなり、初心者向けの工作にも部品点数を減らすため利用されている。また比較的低速で簡単な動作でよければ、ハードウェア (電子回路) を定型的に用意し、簡単なソフトウェア (プログラム) を書くだけで、目的を達せられる場合も多いと考えられる。電子工作の入門は小学校中学年程度の年齢から可能で、同程度の年齢で Scratch [1] を使ったプログラミングを楽しむ子供がいる。

ところで Arduino [2] は広く使われているマイコンボードであり、初心者にも勧められることも多い。Arduino の標準的なプログラミング言語は Arduino 言語 (C++ 言語を基に変更・拡張した言語) である。また ArduBlock [3] というブロックを並べて記述するビジュアルプログラミング言語、対話的にプログラムを制作できるインタプリタ言語 iArduino [4] が利用できる。

Arduino の開発環境には Arduino 言語によるプログラムの例が付属している。また制作例を載せた書籍や雑誌が出版されており [5, 6, 7, 8], これらの制作例の多くで Arduino 言語が使われている。Arduino 言語を使うとマイコンの機能や性能を最大限に生かせ、こういった書籍等の制作例でも、それを追求したものもある。一方

で、電子工作、プログラミングの初心者には高度なものも多い。

Scratch, ArduBlock のようなビジュアルプログラミング言語を使うと、キーボード操作に不慣れた児童・生徒も、プログラミングを楽しむことができる [9] と言われているが、ArduBlock でのプログラミング例をあまりみかけない。iArduino 言語の場合には、プログラムの実行中に、実行している行をハイライト表示したり、変数、入出力ピンの様子などを観察・操作できる特長があるが、やはりプログラミングの例が少ない。

Arduino ボードを使う上で、これら3つの言語はそれぞれに特徴があり、親しみやすさや、プログラミングの自由度が異なる。たとえば ArduBlock はビジュアルプログラミング言語であり親しみやすいが、大きなプログラムの作成や拡張ボードの利用が難しい場合がある。iArduino はインタプリタ型言語であり、対話的に実行 (試行錯誤) できるが、プログラムの大きさの制約が大きい。Arduino 言語はコンパイラ型言語であり、自由度が高いが ArduBlock の親しみやすさやはなく、iArduino のような対話的な実行はできない。一方で、簡単なプログラムであれば、いずれの言語でも問題なく記述できる。

そこで同じハードウェア (回路) 構成で3つのプログラミング言語で作例を記述した作例集があれば、読み手がプログラミング言語を選び作品作りを楽しんで、電子工作とプログラミングを学べると考える。また ArduBlock や iArduino で学んだ後に Arduino 言語との違いを把握するためにも利用できる。本研究では、そのような初心者向けの作例集を目指した試作について報告する。

2 初心者向け作例集の検討と試作

本研究でのテキストの読者に電子工作やプログラミングの経験、知識が十分であると仮定しない。そこで工作についてはブレッドボードを利用し、作例の制作に必要な部品点数をできるだけ少なくする。また興味をもつところから始められるよう、どの作例からでも作れるよう

に配慮する。

図 1 に作例集のページの例を示す。見開き 2 ページで、制作例の写真 (左ページ上), 部品表 (左ページ左下), 配線図¹ (左ページ右下), ArduBlock (右ページ上), iArduino (右ページ中), Arduino 言語 (右ページ下) でのプログラムリストを載せている。このページレイアウトを基本とし、プログラムが長い場合のみ 3 ページ目以降を使う。

制作例 (テーマ) は図 2 に示す, キャンドルライト (卵の殻を LED にかぶせる), イラストの一部を光らせる (猫の絵を描いた紙を LED を 2 つ載せたブレッドボードにかぶせる), イラストから音を出す (カエルを描いた紙を圧電スピーカを載せたブレッドボードにかぶせる), 模型を動かす (狐の絵をかき, ラジコンサーボのサーボホーンにつけた尻尾を動かす), モータを動かす (モータ単体を回転させる) の 5 つである。それぞれ, LED × 1, LED × 2, 圧電スピーカ × 1, ラジコンサーボ × 1, 模型用モータ × 1 を出力とし, 経過時間やセンサ値で動作を変える作例である。作例タイトルの一覧を表 1 から表 5 に示す。合計で 79 の作例がある。

3 議論

現在のところ作例集は試作が出来たのみで評価をしていない段階である。作例タイトルを比較すると想像できるように, プログラム上で 1 文 (1 ブロック) の違いしかない作例もある。電子工作やプログラムに親しみのない段階では, できるだけ真似るだけで完成し, 成功体験を積み重ねられると, より深いところに興味が続いていくのではないかと。よく似たプログラムを見ることで, 異なる動作の鍵となっているのは何かに気づくことができ, 理解につながらないか。といった期待がある。一方で全体的に冗長な作例集に見えることも否定できない。

また, このような作例集を開発環境に統合するというのも一つの案である。Arduino の開発環境ではプログラムの例を開き, 動作を確かめ, 変更を加えていくことができる。同様なことが, ArduBlock や iArduino, またほかの言語の開発環境でも求められているのではないだろうか。その場合, 本作例集では静的にページを用意しているが, 動的に作例のプログラムを生成して示すことが考えられる。それにより, LED の個数を指定すると, それにあったプログラム例を示すことが可能となる。

ほかに Scratch のコミュニティのように作品を共有する仕組みを整えるのも一つの方法かもしれない。たとえば LED 1 つであっても, 何を光らせて面白いと思うかは, 千差万別である。整った作例集だけでなく, LED を

光らせている様子が分かる程度の写真を共有することで, 多くの初心者 (子供たちだけでなく大人も) の興味をひくことが出来るかもしれない。

4 まとめ

本論文では, Arduino ボード用の ArduBlock, iArduino, Arduino 言語の 3 言語を扱った初心者向けの作例集の試作について報告した。作例集の評価や, 開発環境への統合の検討, 制作品の共有方法の検討などを今後進めていきたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25870418 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] J. Maloney, M. Resnick, N. Rusk, B. Silverman, and E. Eastmod: The Scratch programming language and environment. *Trans. Comput. Educ.*, vol.10, no.4, pp.16:1–16:15, 2010.
- [2] Arduino: <http://arduino.cc/>
- [3] ArduBlock: <http://blog.ardublock.com/>
- [4] N. Mitsunaga: An interpreted language with debugging interface for a micro controller. *IEEE GCCE 2012*, pp.115-119, 2012.
- [5] Massimo Banzi (著), 船田 巧 (訳): Arduino をはじめよう (第 2 版). オライリージャパン, 2012.
- [6] エレキジャック編集部 (編): マイコンと電子工作 No.1 電脳 Arduino でちょっと未来を作る. CQ 出版社, 2010.
- [7] エレキジャック編集部 (編): マイコンと電子工作 No.4 LilyPad & Arduino を使ったテクノ・クラフト. CQ 出版社, 2011.
- [8] 小林 茂: Prototyping Lab 「作りながら考える」ための Arduino 実践レシピ. オライリージャパン, 2010.
- [9] 兼宗, 阿部, 原田: プログラミングが好きになる言語環境. *情報処理*, vol.50, no.10, pp.986–995, 2009.
- [10] fritzing: <http://fritzing.org/>

¹配線図は fritzing [10]を用いて描いている

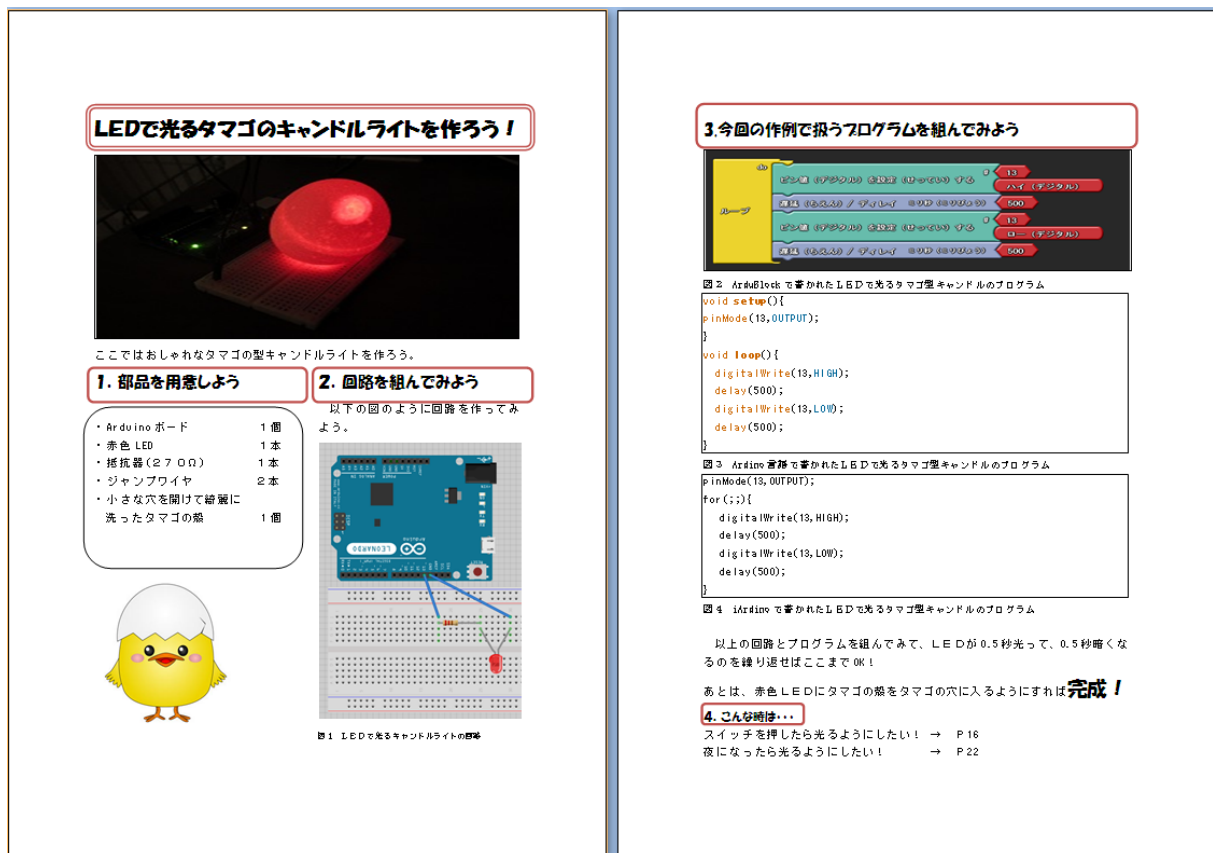


図 1: キャンドルライトの作例ページ。ほかの作例もこのように、制作例の写真（左ページ上）、部品表（左ページ左下）、配線図（左ページ右下）、ArduBlock（右ページ上）、iArduino（右ページ中）、Arduino 言語でのプログラムリスト（右ページ下）を載せる。



図 2: 制作例は左から、キャンドルライト（卵の殻を LED にかぶせる）、イラストの一部を光らせる（猫の絵を描いた紙を LED を 2 つ載せたブレッドボードにかぶせる）、イラストから音を出す（カエルを描いた紙を圧電スピーカを載せたブレッドボードにかぶせる）、模型を動かす（狐の絵をかき、ラジコンサーボのサーボホーンにつけた尻尾を動かす）、モータを動かす（モータ単体を回転させる）である。

表 1: キャンドルライト（卵の殻を LED にかぶせる）テーマの作例一覧

作例番号	作例名
1	LED で光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
2	点滅するタマゴのキャンドルライトをつくろう！
3	だんだん明るく光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
4	だんだん暗くなるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
5	ランダムで明るさが変わるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
6	ボタンを押すと光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
7	ボタンを押すと光らなくなるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
8	暗くなるとだんだん明るく光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
9	明るい時にだんだん明るく光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
10	暗い時にだんだん暗くなるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
11	明るい時にだんだん暗くなるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
12	動きがあると光るタマゴのキャンドルライトをつくろう！
13	動きがあると光が消えるタマゴのキャンドルライトをつくろう！
14	20 度以上の時，点灯するタマゴのキャンドルライトを作ろう！
15	20 度以下の時，点灯するタマゴのキャンドルライトを作ろう！

表 2: イラストの一部を光らせる（猫の絵を描いた紙を LED を 2 つ載せたブレッドボードにかぶせる）テーマの作例一覧

作例番号	作例名
16	ネコの目を光らせよう！
17	ネコの目を点滅させよう！
18	ネコの目をだんだん明るくさせよう！
19	ネコの目をだんだん暗くさせよう！
20	ネコの目をランダムに光らせよう！
21	ネコの目を，ボタンを押した時光らせよう！
22	ネコの目を，ボタンを押した時光らないようにしよう！
23	暗い時にネコの目が光るようにしよう！
24	明るい時にネコの目が光るようにしよう！
25	暗い時にネコの目がだんだん光るようにしよう！
26	明るい時にネコの目がだんだん光るようにしよう！
27	暗い時にネコの目がだんだん暗くなるようにしよう！
28	明るい時にネコの目がだんだん暗くなるようにしよう！
29	明るさによってネコの目の光り方を変化させよう！
30	動きがある時，ネコの目を光らせよう！
31	動きがある時，ネコの目の光らせるのをやめさせよう！
32	20 度以上の時，ネコの目を光らせよう！
33	20 度以下の時，ネコの目を光らせよう！

表 3: イラストから音を出す（カエルを描いた紙を圧電スピーカを載せたブレッドボードにかぶせる）テーマの作例一覧

作例番号	作例名
34	絵のカエルに音を出させよう！
35	絵のカエルにドレミファソラシドを歌わせよう！
36	絵のカエルにだんだん音程が上がっていく音を出させよう！
37	絵のカエルにだんだん音程が下がっていく音を出させよう！
38	絵のカエルに音程がランダムに変化する音を出させよう！
39	ボタンを押した時，絵のカエルに音を出させよう！
40	ボタンを押した時，絵のカエルが鳴き止むようにしよう！
41	暗い時，絵のカエルに音を出させよう！
42	明るい時，絵のカエルに音を出させよう！
43	暗い時，絵のカエルにだんだん音程が上がっていく音を出させよう！
44	動きがある時，絵のカエルに音を出させよう
45	動きがある時，絵のカエルに音を出させるのをやめよう！
46	20度以上の時，絵のカエルに音を出させよう！
47	20度以下の時，絵のカエルに音を出させよう！

表 4: 模型を動かす（狐の絵をかき，ラジコンサーボのサーボホーンにつけた尻尾を動かす）テーマの作例一覧

作例番号	作例名
48	キツネの尻尾を動かそう！
49	キツネの尻尾を三三七拍子のリズムで動かそう！
50	キツネの尻尾を，ボタンを押した時動くようにしよう！
51	キツネの尻尾を，ボタンを押した時動かないようにしよう！
52	暗い時，キツネの尻尾が動くようにしよう！
53	明るい時，キツネの尻尾が動くようにしよう！
54	動きがある時，キツネの尻尾が動くようにしよう！
55	動きがある時，キツネの尻尾が動くのをやめさせよう！
56	20度以上の時，キツネの尻尾が動くようにしよう！
57	20度以下の時，キツネの尻尾が動くようにしよう！

表 5: モータを動かす（モータ単体を回転させる）テーマの作例一覧

作例番号	作例名
58	直流モータを動かそう！
59	直流モータをより早く動かそう！
60	直流モータを動かしたり，止めたりしよう！
61	直流モータを回転・逆回転させよう！
62	直流モータをだんだん速く回転させよう！
63	直流モータをだんだん遅く回転させよう！
64	ボタンを押した時，直流モータを回転させよう！
65	ボタンを押した時，直流モータが止まるようにしよう！
66	ボタンを押した時，直流モータを回転・逆回転するようにしよう！
67	ボタンを押した時，直流モータを回転・逆回転が止まるようにしよう！
68	暗い時，直流モータを回転するようにしよう！
69	明るい時，直流モータを回転するようにしよう！
70	暗い時，直流モータを回転・逆回転するようにしよう！
71	明るい時，直流モータを回転・逆回転するようにしよう！
72	暗い時，直流モータをだんだん速く回転するようにしよう！
73	明るい時，直流モータをだんだん速く回転するようにしよう！
74	暗い時，直流モータをだんだん遅く回転するようにしよう！
75	明るい時，直流モータをだんだん遅く回転するようにしよう！
76	動きがある時，直流モータを回転するようにしよう！
77	動きがある時，直流モータを回転するのをやめさせよう！
78	20度以上の時，直流モータが回転するようにしよう！
79	20度以下の時，直流モータが回転するようにしよう！

© 2014 Special Interest Group on AI Challenges
Japanese Society for Artificial Intelligence
社団法人 人工知能学会 A I チャレンジ研究会

〒162 東京都新宿区津久戸町 4-7 OS ビル 402 号室 03-5261-3401 Fax: 03-5261-3402

(本研究会についてのお問い合わせは下記にお願いします。)

A I チャレンジ研究会

主 査

中臺 一博

(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート
・ジャパン / 東京工業大学 大学院
情報理工学研究科

Executive Committee

Chair

Kazuhiro Nakadai

Honda Research Institute Japan Co., Ltd./
Graduate School of Information
Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology
nakadai @ jp.honda-ri.com

主 幹 事

光永 法明

大阪教育大学 教員養成課程 技術教育講座

Secretary

Noriaki Mitsunaga

Department of Technology Education,
Osaka Kyoiku University

幹 事

植村 渉

龍谷大学 理工学部 電子情報学科

Wataru Uemura

Department of Electronics and Informat-
ics, Faculty of Science and Technology,
Ryukoku University

公文 誠

熊本大学 大学院 自然科学研究科

Makoto Kumon

Graduate School of Science and
Technology,
Kumamoto University

中村 圭佑

(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート
・ジャパン

Keisuke Nakamura

Honda Research Institute Japan Co., Ltd.