DOI: 10.22041/ijbme.2008.13433

A Behavioral Based Model for Describing Learning Farsi Characters

M. Naghibolhosseini [1], F. Bahrami[2*]

[1] M.Sc student, Electrical and Computer Engineering School, Tehran University, Tehran, Iran, naghibm@yahoo.com

[2] Assistant Professor, Control and Intelligent Processing Center of Excellence (CIPCE), Electrical and Computer Engineering School, Tehran University, Tehran, Iran

Abstract

This paper proposes a model to learn Farsi handwriting in different sizes based on human behavior. This model copies a human handwritten character with imitation. The imitation includes two stages of perception and action. During the perception, the information that is needed in order to generate the character is extracted from the original pattern and during the action, the model generates a character similar to the original one. To rewrite a given character, first it is decomposed into the consecutive strokes. Each stroke is approximated by several linear subdivisions. We considered the slopes and lengths of these subdivisions as the features of a given handwriting. The model learns to write a character by learning to reproduce these features. These features are descriptive of the human handwriting behavior. The learning process becomes complete when all points of the character's trajectory have distance less than a specified distance with the original trajectory. This specified distance describes visual attention and is defined as the attention width. Attention width demonstrates the human accuracy during the different trials of learning. In our model, visual attention is adaptive and decreases as the learning progresses. After the completion of learning, Farsi letters with different sizes can be generated using only memory. In order to evaluate the performance of the model, the correlation between the original and simulated characters is used. The simulation results showed good performance of the model between different Farsi characters.

Keywords: Writing modeling; Writing strokes; Behavior; Imitation; Memory

* Corresponding author
Address: Fariba Bahrami, North Kargar Ave., Pardis II of Fanni, Electrical and Computer Engineering School, University of Tehran, Tehran, Iran
Tel: +98 21 61114924, +98 912 7368620
Fax: +98 2188633029
E-mail: fbahrami@ut.ac.ir

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

DOI: 10.22041/ijbme.2008.13433

مدلی رفتار پایه جهت توصیف یادگیری نوشتن حروف فارسی

مریم نقیب الحسینی[۱]، فریبا بهرامی[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران naghibm@yahoo.com
[۲] استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، قطب کنترل و پردازش هوشمند، دانشگاه تهران، تهران

چکیده

در این مقاله مدلی بر اساس رفتار نوشتاری انسان و به‌منظور یادگیری نوشتن حروف فارسی در اندازه‌های مختلف پیشنهاد شده است. این مدل با تقلید از یک حرف نوشته شده به‌وسیله انسان، اقدام به رونویسی آن می‌کند. تقلید شامل دو مرحله درک و عمل است. در مرحله درک، اطلاعات مورد نیاز برای تولید حرف از الگوی اصلی استخراج می‌شود و در مرحله عمل، مدل اقدام به تولید حرف به‌صورت مشابه با الگوی اصلی می‌کند. برای نوشتن مجدد یک حرف ابتدا آن را به اجزای تشکیل دهنده خود یا ضربه‌های نوشتاری تجزیه می‌کنیم. هر ضربه با تقریب تکه‌ای خطی به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌شود. شیب و طول قدم هر یک از این زیر بخش‌ها به‌عنوان ویژگی‌های حرف نوشته شده در نظر گرفته می‌شوند و مدل با یادگیری این ویژگی‌ها نوشتن حرف را می‌آموزد. این ویژگی‌ها معرف رفتار نوشتاری انسان است. یادگیری در صورت توانمندی مدل در تولید مسیر به‌گونه‌ای که تمام نقاط روی آن، فاصله‌ای کمتر از یک میزان از پیش تعریف شده از مسیر اصلی را دارا باشد، تکمیل می‌شود. این میزان از پیش تعریف شده را عرض توجه می‌نامیم که نشان‌دهنده توجه بصری و معرّف دقت فرد در طول مراحل یادگیری است. در مدل پیشنهادی توجه بصری تطبیقی استو با پیشرفت یادگیری کاهش می‌یابد. پس از پایان یادگیری، مدل توانایی تولید حروف فارسی در اندازه های مختلف و با استفاده از حافظه را داراست. به‌منظور بررسی عملکرد مدل از محاسبه همبستگی بین مسیر حرف تولید شده به‌وسیله مدل و مسیر الگوی اصلی استفاده می‌شود. نتایج حاصل حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل در بین داده‌های مختلف فارسی است.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی نوشتن؛ ضربه های نوشتار؛ رفتار؛ تقلید؛ حافظه

* عهده‌دار مکاتبات
نشانی: تهران، خیابان کارگر شمالی، پردیس شماره ۲ دانشکده های فنی دانشگاه تهران، دانشکده برق و کامپیوتر
تلفن: ۶۱۱۱۴۹۲۴، ۰۹۱۲۷۳۶۸۶۲۰، دورنگار: ۸۸۶۳۳۰۲۹، پیام نگار: fbahrami@ut.ac.ir

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

۱- مقدمه

فرایند نوشتن از جمله پیچیده‌ترین اعمالی است که به‌وسیله انسان انجام می‌شود. یادگیری نوشتن در سنین کودکی و بر اساس تقلید صورت می‌گیرد. این تقلید به‌معنی مشاهده و تولید مجدد یک رفتار مشخص است [۱، ۲]. بررسی نوشتن راه‌گشای تحقیقات در زمینه‌های گوناگونی مانند رفتارهای حرکتی، کنترل و یادگیری حرکات و طراحی ربات‌هایی با ویژگی‌های مشابه انسان است. بررسی عمل نوشتن با اجرای آزمایش‌های ساده، ارزان و غیرتهاجمی بر روی انسان تسهیل کننده این مطالعات است [۳]. طی چند دهه اخیر گروه‌های مختلفی با دیدگاه‌هایی متفاوت به بررسی این عمل پیچیده پرداخته‌اند. یکی از روش‌های بررسی این فرایند، مدلسازی آن است [۳]. مدل‌های مطرح شده ویژگی‌های مختلفی نظیر ویژگی‌های شناختی، بیومکانیکی و کینماتیکی نوشتن را مورد توجه قرار می‌دهند [۴].

با مروری بر مدل‌های موجود در نوشتن دو دسته متدلوژی[1] مختلف در زمینه مدلسازی نوشتن مطرح می‌شود. متدلوژی اول مدل‌هایی با هدف تولید مجدد ویژگی‌هایی از نوشتار انسان مانند پروفایل‌های سرعت و شتاب و رابطه بین ویژگی‌های مختلف حرکت مانند انحنا و سرعت زاویه‌ای را در بر می‌گیرد [۳-۵]. مدل‌هایی که بر پایه بهینه‌سازی (عمدتاً کمینه‌سازی) یکی از پارامترهای سیستم مانند مشتق سوم یا چهارم مختصات نوک قلم و یا تغییرات گشتاور مفاصل طراحی شده‌اند، نیز در این دسته قرار می‌گیرند [۳-۶]. مدل‌های حرکات نوسانی که با ترکیب سرعت‌های سینوسی حرکات مختلف نوشتن را تولید می‌کنند نیز جزء این گروه هستند [۴، ۵]. دسته دوم از متدلوژی‌ها شامل مدل‌هایی هستند که بر روی ویژگی‌های شناختی و نوروفیزیولوژیکی عمل نوشتن تمرکز دارند [۳، ۴]. این گروه از مدل‌ها به مسأله یادگیری، حافظه و برنامه‌ریزی حرکات توجه دارند؛ این موارد غالباً در گروه اول حذف شده اند. شایان ذکر است مدل‌های تولید مسیر در این گروه قرار نمی‌گیرند و صرفاً در گروه اول واقعند [۴، ۷، ۸].

از مهمترین و اولین مدل‌های مطرح در زمینه نوشتن، مدل تولید نوشتن با استفاده از حرکات نوسانی است که در سال ۱۹۸۱ به‌وسیله هولرباخ[2] مطرح شد. هولرباخ اولین کسی بود که ایده تولید نوشتن با ترکیب حرکات نوسانی افقی و عمودی را مطرح کرد. این مدل جزء متدلوژی‌های دسته اول است که صرفاً به مسأله تولید مسیر می‌پردازد بدون اینکه به مسائل شناختی نوشتن بپردازد [۴، ۵].

ایده استفاده از ضربه‌های نوشتار اولین بار در مدل ارائه شده به‌وسیله موراسو[3] و موسی-ایوالدی[4] در سال ۱۹۸۲ مطرح شد. در این مدل هدف اتصال اجزای نوشته به‌نحوی بوده است که یک مسیر نرم ایجاد گردد. مدل مطرح شده حروف را ترکیبی از تعدادی ضربه‌های نوشتار دایره‌ای شکل و مستقیم الخط در نظر می‌گیرد [۷].

دسته دیگر از مدل‌های مطرح در نوشتن، مدل‌های روبرو شونده با مسأله نوشتن با استفاده از دیدگاه بهینه‌سازی هستند. از مهمترین مدل‌های مطرح در این دسته مدل کمینه‌سازی مشتق‌های سوم و چهارم مکان است که در سال ۱۹۸۷ به‌وسیله ادلمن[5] و فلاش[6] مطرح شد. در این مدل برای تولید یک مسیر نرم از نوشتن، از کمینه‌سازی مشتق‌های سوم و چهارم مکان استفاده شده است، نتایج مدلسازی آنها نشان داده است که مشتق چهارم مکان پاسخ‌های بهتری به‌دست می‌دهد. در این مدل نیز از ایده ضربه‌های نوشتاری استفاده شده است. در این مدل چهار ضربه نوشتاری بیضوی، گاما، فنجانی و چنگکی تعریف شده اند [۶]. علاوه بر مدل ادلمن و فلاش در زمینه بهینه‌سازی، وادا[7] و کاواتو[8] نیز مدلی بر اساس اصل بهینه‌سازی تغییرات گشتاور در سال ۱۹۹۵ مطرح کردند. مزیت کار آنها استفاده از سیستمی به‌منظور تعیین مقدار کمینه[9] نقاط میانی مورد نیاز در تولید مسیر بود [۹].

از جمله جدیدترین و کامل‌ترین مدل‌های موجود در زمینه نوشتن که ابعاد شناختی و نوروبیولوژیکی نوشتن را در نظر می‌گیرد، مدل AVITEWRITE[10] است. این مدل به‌وسیله گراسبرگ[11] و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شد. در این مدل هم ابعاد دینامیکی نوشتن مانند سرعت، شتاب و انحنای مسیر در نظر گرفته شده و هم به بُعد شناختی آن پرداخته می‌شود.

[1] Methodology
[2] Hollerbach
[3] Morasso
[4] Mussa Ivaldi
[5] Edelman
[6] Flash
[7] Wada
[8] Kawato
[9] Minimum
[10] Adaptive Vector Integration To Endpoint WRITEing
[11] Grossberg

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

در نهایت برای بررسی اعتبار مدل سرعت زاویه‌ای، سرعت مماسی و شتاب مسیر تولید شده به‌وسیله مدل با داده‌های انسانی مقایسه می‌شود. مسائلی مانند حافظه، زمان‌بندی تطبیقی مخچه و یادگیری نیز از دیدگاه شناختی در مدل در نظر گرفته شده است [۳، ۱۰].

برخی دیگر از مطالعات از این ایده استفاده کردند که حرکات در حوزه سرعت توصیف و برنامه‌ریزی می‌گردند. در سال ۲۰۰۴ مدلی به‌وسیله بزینه[12] و همکاران مطرح گردید. این مدل پروفایل سرعت حرف را مجموعه‌ای از نمودارهای بتا می‌داند و هر نمودار را متناسب با یک بیضی در فضای مکان در نظر می‌گیرد. با استفاده از نقاط روی نمودارهای سرعت بتا، پارامترهای مورد نیاز برای تشکیل این بیضی‌ها که در واقع همان ضربه‌های نوشتاری‌اند، تعیین می‌شوند [۴]. مدل پیشنهادی در این مقاله هر دو متدلوژی مذکور در نوشتن را مد نظر قرار می‌دهد. در اینجا الگوریتمی مطرح می‌شود که چگونگی یادگیری نوشتن یک حرف با استفاده از تقلید از یک الگوی نوشته شده را بر اساس رفتار نوشتاری انسان نشان می‌دهد. شایان ذکر است هدف این مدل در نظر گرفتن سلسله مراتب بیولوژیکی مطرح در عمل نوشتن انسان نیست، بلکه این مدل به رفتار نوشتاری انسان توجه دارد. پس از یادگیری الگوی اولیه، مدل پیشنهادی توانایی تنظیم اندازه حرف را نیز داراست.

۲- روش‌ها

۲-۱- مفاهیم استفاده شده در ساختار مدل

مدل پیشنهاد شده در این تحقیق از این نظریه استفاده می‌کند که حرکات پیچیده انتهای قلم طی نوشتن قابل تجزیه به حرکاتی پایه‌ای و ساده به نام ضربه‌های نوشتارست [۱، ۳، ۷، ۱۰]. این اجزای پایه‌ای به‌وسیله سیستم عصبی- عضلانی در هنگامی تولید می شوند که این سیستم به‌طور کامل آموزش داده شده است. بنابراین حرکات پیچیده‌تر را می‌توان با ترکیب این ضربه‌های ساده‌تر تولید کرد [۱].

عملکرد مدل بر اساس تقلید است. تقلید به‌معنی توانایی تکرار و یادگیری یک مهارت جدید با مشاهده عملی است که به‌وسیله دیگران انجام شده است [۱۱]. تقلید شامل دو مرحله درک و عمل است [۱۲، ۱۳]. در مدل پیشنهادی در این تحقیق مرحله درک به‌وسیله کسب اطلاعات مربوط به ضربه‌های نوشتار و سینرژی[13]های حرکتی و نیز اطلاعات مربوط به شیب و طول قدم[14]های مسیرهای حرکت از حرف نوشته شده به‌عنوان سرمشق، مدل شده است. مرحله عمل مدل شامل تولید حرف مورد نظر در یک فضای دوبُعدی و بدون در نظر گرفتن نحوه عملکرد سیستم اسکلتی- عضلانی دست و ابعاد دینامیک نوشتن (سرعت حرکت) است.

تشخیص ضربه‌های نوشتاری تشکیل‌دهنده یک حرف مرحله اول از تولید حرف مورد نظر است. این مرحله در واقع یک ویژگی شناختی از یادگیری تقلیدی نوشتن را بیان می‌کند. پس از تشخیص ضربه‌ها و تولید هر ضربه، هر یک از این ضربه‌های نوشتار به‌صورت پاره‌ای-خطی تقریب زده می‌شوند. محل تقاطع هر دو پاره خط متوالی یک نقطه میانی را تشکیل می‌دهد. هر یک از این پاره خط‌ها به‌وسیله اندازه و زاویه‌ای که با سطح افق می‌سازند، تعریف می‌شوند. این ویژگی‌ها به‌عنوان متغیّرهای مدل درنظر گرفته می‌شوند. مدل مطرح شده برای یادگیری تولید مسیر حرکت نوک قلم در این مطالعه، نقاط میانی مورد نیاز برای تولید هر ضربه نوشتار را تولید می‌کند.

مسیرهای حرکتی در نوشتن با ترکیب ضربه‌های نوشتار با سینرژی‌های حرکتی مختلف تولید می‌شوند. این سینرژی‌ها نتیجه فعالیت گروهی از ماهیچه‌ها هستند که با همکاری یکدیگر حرکات را در جهاتی مشخص تولید می‌کنند [۱۴]. در این مدل قسمت کد کردن عملکرد سینرژی‌ها در مغز حذف شده و نتیجه سینرژی یعنی همان تعیین جهت حرکت، به‌طور مستقیم اعمال شده است.

از سایر ویژگی‌های مدل، رفتاری بودن آن است زیرا این مدل برای بازنویسی سرمشق‌های داده شده از دو ویژگی اندازه و شیب حروف برای یادگیری استفاده می‌کند. طبق مطالعات خط‌شناسان درباره بررسی خط افراد گوناگون، افراد مختلف به‌گونه‌ای متفاوت و بر اساس ویژگی‌های شخصیتی خود اندازه و شیب حرکات نوشتن را یاد می‌گیرند [۱۵، ۱۶].

[12] Bezineh
[13] Synergy
[14] Step

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

مدل ارائه شده اندازه هر یک از تکه‌های مسیر را برابر مسیر اصلی در نظر می‌گیرد اما شیب به‌صورت تصادفی در بازه‌ای مشخص تعیین می‌شود.

به‌منظور سنجش میزان یادگیری تقلیدی به معیاری برای سنجش شباهت نیاز است. این سنجش شباهت از طریق مقایسه شیب تکه‌های مسیر حرکت پس از پایان هر مرحله از یادگیری با شیب‌های مسیر اصلی صورت می‌گیرد. همچنین در پایان مراحل یادگیری از معیار همبستگی بین مسیر حرف تولید شده با حرف اصلی استفاده می‌شود.

اعمال خودکار[15] انسان یا به‌صورت ذاتی خودکار هستند یا از طریق یادگیری به اعمالی خودکار تبدیل می‌شوند؛ یکی از مهمترین این اعمال نوشتن است [۱۷]. نوشتن از جمله اعمالی است که در ابتدا به توجه زیادی احتیاج دارد و زمانی که فرایند یادگیری آن تکمیل می‌شود میزان توجه کاهش می‌یابد. درواقع نوشتن در حالت کلی عملی است که به‌صورت خودکار و بدون نیاز به توجه انجام می‌شود [۱۸]. زمانی که شخص شروع به یادگیری نوشتن می‌کند، همواره اطلاعاتی را با استفاده از توجه بصری از مسیر حرکت به‌دست می‌آورد. این اطلاعات به شخص کمک می‌کنند تا حرکات اشتباه خود را تصحیح نماید.

در این مطالعه توجه بصری به‌صورت یک نوار توجه در اطراف مسیر نوشتن مدل شده است. در ابتدای مراحل یادگیری، زمانی که شخص شروع به نوشتن می‌کند، با استفاده از اطلاعات کسب شده از طریق بینایی، یک نقطه میانی را مشخص می‌کند که به‌منظور تولید حرف مورد نظر باید به سمت آن نقطه حرکت نماید. اگر نقطه یاد شده خارج از این نوار توجه قرار گیرد به این معناست که درست انتخاب نشده است. بنابراین مکان نقطه باید در مراحل بعدی یادگیری تصحیح شود. این نوار توجه در واقع نشان‌دهنده دقت شخص است. در مراحل ابتدایی یادگیری که شخص دقت بیشتری دارد عرض این نوار نیز کمتر است. با پیشرفت یادگیری عرض این نوار نیز افزایش می‌یابد زیرا به دقت کمتری نیاز است. این امر در مدل نیز لحاظ شده است و مدل، به‌صورت تطبیقی و وابسته به دقت مورد نیاز برای نوشتن حرف، عرض توجه[16] را تغییر دهد.

در پایان یادگیری، مسیر نوشتن فقط با کمک حافظه و بدون مقایسه مسیر تولید شده با مسیر اصلی تولید می‌شود. در این مطالعه منظور از حافظه، حافظه بلندمدت است که اطلاعات مورد نیاز برای انجام هر عمل پس از یادگیری آن در این حافظه ذخیره می‌شوند. به‌منظور نوشتن حرف در اندازه‌های مختلف پارامترهای مدل نیز تنظیم می‌شوند و مدل می‌تواند حروفی کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از اندازه اصلی و با اندازه دلخواه تولید کند.

۲-۲- داده‌های ثبت شده به‌عنوان سرمشق

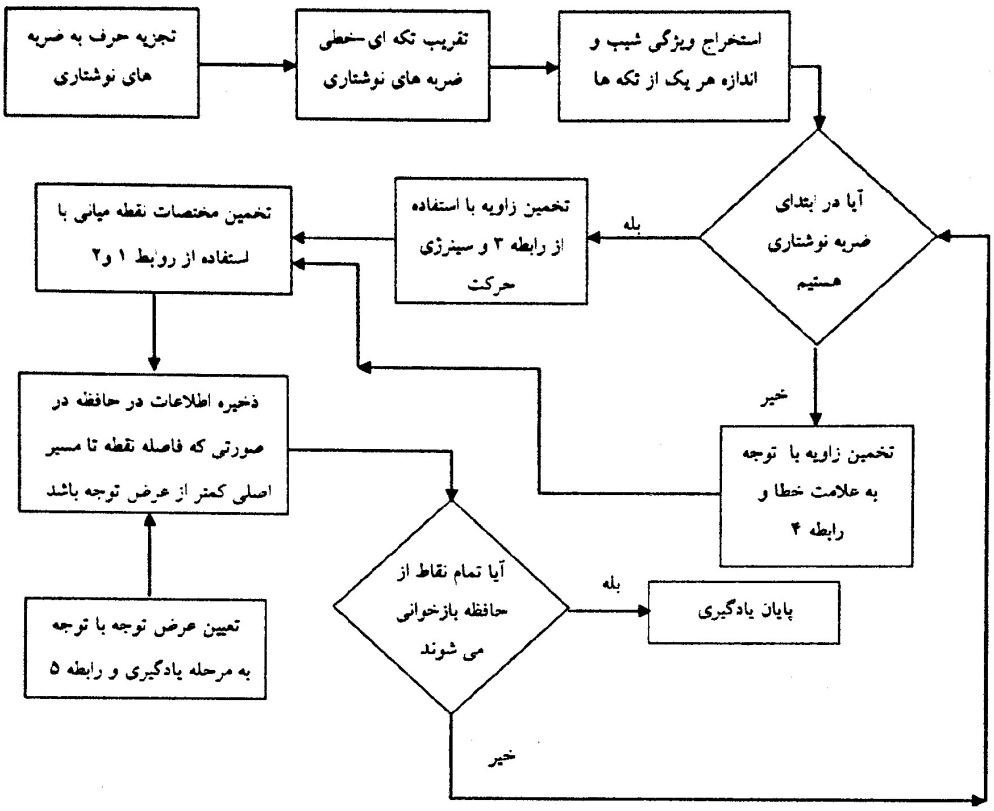
داده‌هائی که قرار بود به‌عنوان الگو و یا سرمشق نوشتن استفاده شوند به‌وسیله یک لوح دیجیتال[17] مدل اینتوس[18] با فرکانس ۲۰۶Hz از چهار نفر به‌دست آمد. از افراد خواسته شده تا حروف فارسی را که بدون برداشتن قلم از روی صفحه قابل نوشتن هستند بر روی صفحه دیجیتال بنویسند. در مجموع ۱۶ حرف فارسی به‌وسیله هر فرد نوشته شده است. از افراد درخواست شد تا حروف را در اندازه‌ای که بر روی کاغذ یادداشت می‌کنند، بنویسند. همچنین از هر فرد خواسته شد تا ۱۰ حرف یکسان را پشت سر هم بنویسد. در طول نوشتن هر فرد مختصات افقی (x) و عمودی (y) قلم جمع‌آوری شد. همچنین برای پیش‌پردازش تعدادی از نقاط ابتدا و انتهای حروف نوشته شده را به‌دلیل دارا بودن لرزش‌های ناخواسته دست در ابتدا و انتهای این حروف، حذف می‌کنیم.

۲-۳- الگوریتم مدل پیشنهادی

روندنمای[19] الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده‌شده است. یافتن ضربه‌های نوشتاری تشکیل دهنده یک حرف، اولین مرحله در تولید حرف است. حروف فارسی دارای ضربه‌های نوشتاری بالا-پایین و چپ-راست هستند. بنابراین به‌منظور یافتن ضربه‌ها باید نقاطی را یافت که در آنها مقادیر سرعت افقی یا عمودی برابر صفر می‌شوند. این نقاط را نقاط توقف می‌نامیم.

[15] Automatic
[16] Attention Width
[17] Digital writing tablet
[18] Intuos
[19] Flowchart

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org



شکل ۱- روندنمای الگوریتم در مدل پیشنهادی

نقاط توقف در واقع نقاطی هستند که در آنها سرعت در یکی از دو جهت افقی و یا عمودی تغییر جهت می‌دهد و نیز مقدار آن برابر یا نزدیک به صفر می‌شود.

پس از یافتن نقاط توقف باید سینرژی‌های حرکت در طول هر ضربه نوشتار مشخص شود. جهات حرکت یا به‌عبارتی سینرژی‌های حرکتی در هر نقطه توقف تغییر می‌کنند.

چهار سینرژی متفاوت x مثبت و منفی و y مثبت و منفی درنظر گرفته شدند. در مرحله بعد شیب بین هر دو نقطه مجاور بر روی مسیر نوشته را می‌یابیم. سپس حرف به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که در آنها تغییرات شیب از یک مقدار تعریف شده بیشتر باشد. به‌عبارت دیگر یک تقریب پاره‌ای-خطی بر روی مسیر نوشتن اعمال می‌شود. شیب هر قسمت برابر شیب بین دو نقطه ابتدایی و انتهایی آن قسمت در نظر گرفته می‌شود. طول هر قسمت نیز برابر فاصله بین نقطه ابتدا و انتهای آن مسیر است. این طول‌ها برابر با طول قدم‌های مدل به‌منظور انتخاب نقاط هدف برای تشکیل مسیر فرض می‌شوند.

به‌منظور یافتن مختصات نقاط میانی در جهات افقی و عمودی (VPx, VPy) به مختصات نقطه فعلی در جهات افقی و عمودی (PPx, PPy) و طول قدم و زاویه تصادفی[20] حرکت به‌سمت نقطه هدف نیاز است. با داشتن مقادیر مذکور مختصات نقطه هدف با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود:

$$VPx=PPx+\cos(\text{random angle})*step \quad (1)$$

$$VPy=PPy+\sin(\text{random angle})*step \quad (2)$$

از نقطه ابتدایی حرف شروع می‌کنیم. متغیّر طول قدم برابر با طول هر قسمت در نظر گرفته می‌شود. سپس یک زاویه تصادفی بر اساس جهات حرکت در آغاز ضربه نوشتار مربوطه انتخاب می‌شود. بازه مورد نظر بر اساس جهت حرکت برای انتخاب این زاویه تصادفی اولیه در رابطه (۳) نشان داده شده است:

$$initial\ random\ angle = \begin{cases} 0-90 & if\ direction=+x,+y \\ 90-180 & if\ direction=-x,+y \\ 180-270 & if\ direction=-x,-y \\ 270-360 & if\ direction=+x,-y \end{cases} \quad (3)$$

[20] Random Angle

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

با انتخاب زاویه و داشتن طول قدم و نقطه آغازین حرکت، اولین نقطه میانی انتخاب می‌شود. برای تخمین نقطه میانی بعدی، شیب قسمت قبلی با شیب واقعی قسمت بعدی مقایسه می‌شود و درصد خطا و علامت این خطا را مشخص می‌کنیم. علامت خطا نشان‌دهنده اینست که شیب تخمین زده شده بیشتر و یا کمتر از شیب واقعی است و به ما نشان می‌دهد به‌منظور تصحیح مقدار شیب باید آن را کم یا زیاد کرد. زاویه بعدی با استفاده از رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$Randomangle = previousrandomangle \pm \begin{cases} 0-18, & if\ 0 \le error\ percentage < 20 \\ 18-36, & if\ 20 \le error\ percentage < 40 \\ 36-54, & if\ 40 \le error\ percentage < 60 \\ 54-72, & if\ 60 \le error\ percentage < 80 \\ 72-90, & if\ 80 \le error\ percentage \le 100 \end{cases} \quad (۴)$$

علامت مثبت یا منفی در معادله بالا بر اساس علامت خطا انتخاب می‌شود. اگر علامت خطا مثبت باشد به این معناست که مقدار زاویه انتخابی باید افزایش یابد. بنابراین در رابطه (۴) از علامت مثبت استفاده می‌شود. به‌همین ترتیب اگر علامت خطا منفی باشد، باید زاویه را کاهش داد و درنتیجه در رابطه فوق باید از علامت منفی استفاده کرد. در هر مرحله از انتخاب نقاط هدف در آغاز هر ضربه نوشتار سینرژی حرکت بررسی و جهت سینرژی تا پایان هر ضربه نوشتار حفظ می‌شود. با برهم‌نهی ضربه‌های تولید شده مسیر نهایی تولید می‌گردد.

با استفاده از قانون ذکر شده و معادلات (۱) و (۲) نقاط میانی تخمین زده می‌شوند. پس از انتخاب هر نقطه میانی فاصله نقطه حاصل تا مسیر حرکت اصلی محاسبه می‌شود. این فاصله را برابر فاصله نقطه میانی تا نزدیک‌ترین نقطه بر روی مسیر حرکت تعریف می‌کنیم. اگر این فاصله کمتر از یک مقدار از پیش تعریف شده وابسته به میزان دقت (عرض توجه) باشد، اطلاعات مربوط به شیب و طول قدم حرکت نقطه میانی در حافظه ذخیره می‌شود. درواقع دور حرف تولید شده یک نوار به‌نام نوار توجه در نظر گرفته می‌شود که فاصله آن تا مسیر حرف برابر عرض توجه است.

در این مدل عرض توجه را به‌صورت تطبیقی در نظر می‌گیریم، بدین معنا که در ابتدای یادگیری که به دقت بالایی نیاز است عرض توجه کوچک در نظر گرفته می‌شود. با پیشرفت یادگیری، میزان دقت مورد نیاز برای تولید حرف کاهش می‌یابد؛ بنابراین میزان عرض توجه یادشده نیز باید افزایش یابد. اگر عرض توجه همواره کوچک انتخاب شود، تعداد مراحل یادگیری بسیار زیاد می‌شود و ممکن است الگوریتم یادگیری هیچ‌گاه همگرا نشود. رابطه (۵) بیان‌کننده تغییرات عرض توجه بسته به مرحله یادگیری می باشد:

$$Attention\ Width = \frac{a}{b - c \times (number\ of\ trial)} \quad (۵)$$

میزان ضرایب a و b و c بسته به حرفی که یاد گرفته می‌شود، تغییر می‌کنند. زمانی که مقایسه آخرین شیب صورت می‌گیرد و آخرین نقطه میانی بر روی مسیر انتخاب می‌شود، مرحله اول یادگیری تکمیل می‌گردد. طی هر مرتبه انتخاب نقطه میانی، اگر شیب و طول قدم مورد نیاز در حافظه موجود باشد، این اطلاعات از حافظه بازخوانی می‌شود و مختصات نقطه میانی محاسبه می‌شود. به این ترتیب به تخمین دوباره شیب نیازی نیست. در این حالت حرکت بر پایه حافظه است. اما درصورتی که شیب و طول قدم حرکت در حافظه موجود نباشند زاویه تصادفی باید دوباره انتخاب شود، در این حالت زاویه مذکور بین زاویه انتخابی در مرحله قبل و زاویه واقعی انتخاب می‌شود. در واقع انتخاب زاویه جهت‌دار است و کاملاً تصادفی نیست و در جهت شبیه‌تر کردن حرف تولید شده به حرف اصلی است. این امر بیانگر مسأله تقلید در این یادگیری است.

پس از هر مرحله از تکرار الگوریتم، مسیر حرکت به مسیر واقعی شباهت بیشتری یافته و تعداد نقاط ذخیره شده در حافظه افزایش می‌یابد. این الگوریتم به‌طور مرتب تکرار می‌شود تا زمانی که تمام نقاط فقط با استفاده از اطلاعات موجود در حافظه تولید شوند و تولید مسیر به‌طور کامل برپایه حافظه صورت گیرد.

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

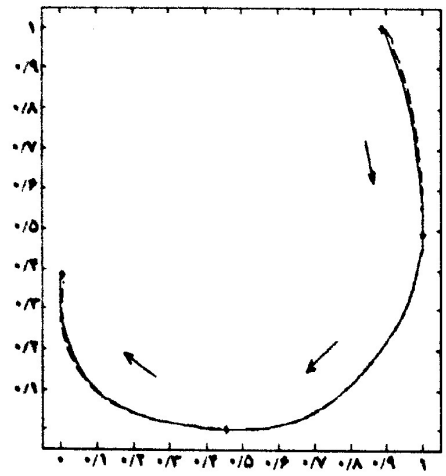
۳- نتایج

در این پژوهش عملکرد مدل پیشنهادی بر روی تمام حروف فارسی که بدون برداشتن قلم از روی کاغذ (حروف نقطه‌دار بدون نقطه فرض شدند) قابل نوشتن هستند، بررسی شده است. مدل پیشنهادی برای حروف ناپیوسته (به‌عنوان مثال نقطه‌دار) با تعریف استفاده شده در مورد ضربه‌های نوشتار قابل پیاده‌سازی نیست. به‌منظور پیاده‌سازی مدل بر روی حروف ناپیوسته باید تعریف ضربه‌های نوشتار تعمیم یابد. همان‌طور که بیان شد از هر فرد خواسته شده تا هر حرف را ده مرتبه بنویسد؛ شبیه‌سازی این مدل نیز بر روی حروف مختلف نوشته شده به‌وسیله هر فرد انجام شده است. به‌منظور بررسی عملکرد مدل از محاسبه همبستگی بین مکان حرف تولید شده به‌وسیله مدل و حرف سرمشق استفاده شود.

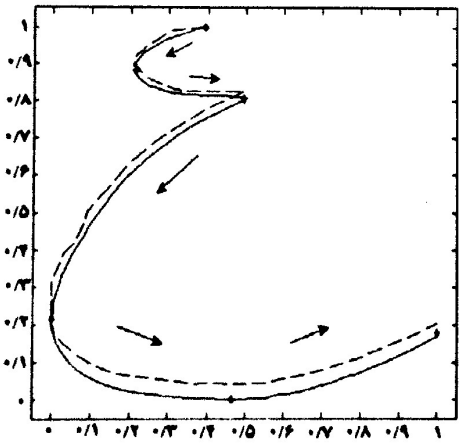
هرچه میزان همبستگی بین نوشته تولید شده به‌وسیله مدل و انسان بیشتر باشد، عملکرد مدل بهتر است و نیز کم بودن میزان این همبستگی نشانگر عملکرد ضعیف مدل خواهد بود. نتایج مربوط به بهترین و ضعیف‌ترین حالت عملکرد مدل در جدول ۱ نشان داده شده است. بهترین عملکرد مدل در حرف "ل" تولید شده به‌وسیله فرد چهارم و ضعیف ترین عملکرد مدل در بین حرف "ع" تولید شده به‌وسیله فرد اول مشاهده شده است. شکل‌های ۲ و ۳ حروف تولید شده به‌وسیله مدل و حروف اصلی را نشان می‌دهد. جهات حرکات در طول هر ضربه نیز در این شکل‌ها نشان داده شده اند. همچنین ستاره‌های روی هر حرف نشان‌دهنده نقاط آغاز و پایان ضربه‌های نوشتار هستند.

جدول ۱- همبستگی بین مسیر نوشته تولید شده به‌وسیله مدل و انسان در دو جهت x و y در بهترین و ضعیف‌ترین حالات عملکرد مدل

حرف/ نویسنده حرف	همبستگی در جهت x	همبستگی در جهت y
ل/۴	۰/۹۹	۰/۹۸
ع/۱	۰/۸۴	۰/۸۶



شکل ۲- حرف "ل" نوشته شده به‌وسیله فرد چهارم (خط پیوسته) و حرف تولید شده به‌وسیله مدل (خط‌چین). پیکان‌ها جهت حرکت را نشان می‌دهند و محورهای افقی و عمودی نرمالایز شده‌اند.



شکل ۳- حرف "ع" نوشته شده به‌وسیله فرد چهارم (خط پیوسته)، حرف تولید شده به‌وسیله مدل (خط چین). پیکان‌ها جهات حرکت را نشان می‌دهند و محورهای افقی و عمودی نرمالایز شده‌اند.

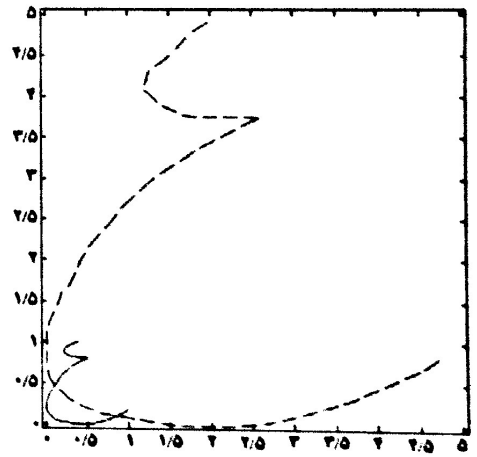
همبستگی از طریق رابطه (۶) محاسبه شده است:

$$c(a,b)=\max_{0\le r\le R}\frac{\sum_{i=0}^{n-r}(a_i-\bar{a})(b_{i+r}-\bar{b})}{(n-r)\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(a_i-\bar{a})^2}\cdot\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(b_i-\bar{b})^2}} \qquad (۶)$$

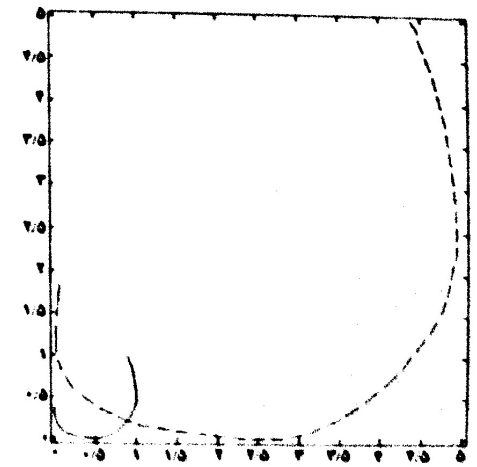
رابطه (۶) همبستگی بین دو رشته $a=\{a_0,a_1,...,a_n\}$ و $b=\{b_0,b_1,...,b_n\}$ با میانگین‌های $\bar{a}$ و $\bar{b}$ را نشان می‌دهد. مقدار R برابر n ۰/۱ فرض می‌شود [۳، ۶، ۱۹]. n طول هر یک از رشته‌های a و b است.

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

علاوه بر توانایی مدل در یادگیری حروف و تولید حروفی مشابه با نوشتار انسان، این مدل از توانایی تنظیم اندازه حروف نیز برخوردار است. یعنی مدل می‌تواند پس از یادگیری هر حرف، آن را در اندازه دلخواه نیز تولید کند. به‌منظور تولید یک حرف در یک اندازه خاص ابتدا باید ضریب تغییر اندازه را مشخص کرد. سپس مقادیر شیب و طول قدم با استفاده از این ضریب تنظیم می‌شوند. برای هر شیب و طول قدم یک بازه تعریف می‌شود. از این بازه یک مقدار تصادفی از شیب و طول قدم انتخاب می‌شود و با استفاده از این اطلاعات حرف موردنظر در اندازه خواسته شده تولید می‌شود. نتایج حاصل از تولید حرف "ع" و "ل" با ضریب تنظیم اندازه ۵ در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- حرف "ع" نوشته شده به‌وسیله فرد چهارم (خط پیوسته)، حرف تولید شده به‌وسیله مدل با ضریب تنظیم اندازه ۵ (خط‌چین)



شکل ۵- حرف "ل" نوشته شده به‌وسیله فرد چهارم (خط پیوسته)، حرف تولید شده به‌وسیله مدل با ضریب تنظیم اندازه ۵ (خط‌چین)

جدول ۲- همبستگی بین مسیر نوشته تولید شده به‌وسیله مدل با ضرایب تنظیم اندازه ۰/۲ و ۵ و دو حرف "ع" و "ل" و انسان در دو جهت x و y

حرف/ضریب تنظیم اندازه	همبستگی در جهت x	همبستگی در جهت y
ل/۵	۰/۹۸	۰/۹۶
ل/۰/۲	۰/۹۵	۰/۹۴
ع/۵	۰/۸۲	۰/۸۷
ع/۰/۲	۰/۷۹	۰/۸۵

همبستگی بین حرف تولید شده به‌وسیله مدل با ضریب تنظیم اندازه ۰/۲ و ۵ و در مورد دو حرف "ع" و"ل" در جدول ۲ آورده شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله هدف مدلسازی نوشتن بر اساس رفتار نوشتاری انسان بوده است. مدل پیشنهادی در این مقاله توانایی تولید مسیرهای نوشتاری با همبستگی بالا با نوشتار انسان را داراست. همچنین پس از تکمیل یادگیری مدل قادر به تولید حروف با اندازه‌های مختلف است.

عملکرد مدل پیشنهادی بر اساس این نظریه در نظر گرفته شده است که مسیرهای نوشتن در هر حرف می‌توانند به اجزای پایه‌ای خود شکسته شوند. هر یک از این اجزا یا ضربه‌های نوشتار به‌صورت تکه‌ای-خطی تقسیم می‌شوند. پس از تجزیه حرف به ضربه‌های نوشتار و تجزیه ضربه‌ها به تکه‌های خطی، شیب و طول هر یک از این تکه‌ها تعریف می‌شود. مسیر یک حرف با تولید پشت سر هم این قطعات خطی و تولید ضربه‌ها با استفاده از اطلاعات مربوط به طول قدم و شیب امکان‌پذیر می‌گردد.

ویژگی دیگر این مدل مسأله توجه بصریست که در آغاز یادگیری برای تقلید از سرمشق و تولید آن ضروری محسوب می‌شود. با پیشرفت یادگیری نیاز به توجه بصری کمتری است و بنابراین دقت کمتری برای نوشتن نیاز است (از جنبه‌های رفتاری مدل). در پایان یادگیری، مسیر نوشتن فقط با استفاده از حافظه و بدون نیاز به توجه بصری تولید می‌شود.

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

نقاط مبهمی درباره مدل‌های مطرح شده قبلی در زمینه نوشتن وجود دارد. در مدل هولرباخ [۵] به‌دلیل فرض‌های ساده کننده متعدد فرایند برنامه‌ریزی مسیر حرکت به‌صورت کامل مشخص نمی‌شود. موراسو و موسی-ایولدی [۷] نیز توضیحی درباره دیدگاه خود در استفاده از ضربه‌های نوشتار و چگونگی تشکیل آنها ندادند. در مدل پیشنهادی در مقاله حاضرانتخاب ضربه‌های نوشتار هدفدار بوده و بر اساس سینرژی‌های حرکتی تعریف شده است. در واقع نقاط آغاز و پایان یک سینرژی حرکتی، نقاط آغازین و پایانی یک ضربه نوشتار را تشکیل می‌دهند. در حالی‌که در مدل موراسو، از ضربه‌های نوشتار منحنی‌الخط و دایره‌ای شکل استفاده شده است و دلیلی برای این نحوه انتخاب ارائه نشده است.

ادلمن و فلاش [۶] نیز هیچ بحثی در رابطه با اینکه چگونه انسان می تواند مشتقات سوم یا چهارم را محاسبه و کمینه نماید انجام نداده اند. محاسبه مشتق اول به‌وسیله مراکز کنترل حرکتی امکان‌پذیر است، اما تاکنون دلیلی برای محاسبه مشتقات بالاتر به‌وسیله انسان ارائه نشده است. همچنین در این مدل شکل اجزای تشکیل دهنده و نقاط میانی بدون دلایل کافی و به دلخواه انتخاب شده اند [۱۹].

مدل AVITEWRITE که به‌وسیله گراسبرگ و همکاران مطرح گردید مدل بسیار کاملی است، عملکرد این مدل در بین افراد مختلف متفاوت است و ویژگی تغییرپذیری موجود در نوشتار انسان را برآورده نمی‌کند [۱۰]، اما در عوض مسأله سرعت و شتاب در نوشتن را نیز مطرح کرده و سعی در توصیف آنها می نماید.

عملکرد مدل بزینه و همکاران [۴]، نیز تنها در بین برخی کلمات خاص بررسی شده است و عملکرد مدل در برخورد با حروف مختلف مشخص نیست.

از طرف دیگر مدل مطرح شده در این تحقیق بر روی تمام داده‌های فارسی که بدون برداشتن قلم از روی کاغذ نوشته می‌شوند پیاده‌سازی شده است. به‌علاوه نتایج شبیه‌سازی مدل مطرح شده نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای حرف تولید شده به‌وسیله مدل با داده مربوط به نوشتن انسان است. یکی از جنبه‌های مهم مدل، اتکای آن بر جنبه رفتاری عمل نوشتن است که هیچ‌یک از مدل‌های قبلی از این دیدگاه به مدلسازی مسأله نوشتن نپرداخته اند. از دیگر مزایای مدل مطرح شده در این تحقیق کمبود حجم محاسبات و سادگی آن است. این ابعاد به ما اجازه می‌دهد تا در آینده با تکمیل مدل، مشکلات نانوشتاری را که در حیطه رفتار نوشتن قابل توصیف‌اند، بررسی کنیم. از نکاتی که برای تکمیل این مدل باید در نظر بگیریم تکمیل آن در جهت توصیف قابلیت تغییرپذیری نوشتار در تکرارهای مختلف است. به‌علاوه مدل مطرح شده در این تحقیق یک مدل ایستا[20] است و در نتیجه یکی دیگر از مسائلی که باید در تکمیل آن در نظر داشت، افزودن ویژگی‌های پویا[21]ی عمل نوشتن است.

از آنجا که شبیه‌سازی مدل پیشنهادی بر روی تمامی حروف نوشته شده به‌وسیله هر یک از چهار نفر انجام شده است، این نتایج کاملاً قابل اطمینان است. هر فرد ۱۶ حرف فارسی را ده مرتبه می‌نویسد که در مجموع ۱۶۰ حرف را شامل می‌شود. جمع‌آوری این تعداد داده از افراد کمک می‌کند تا نوشتن حرف در شکل‌های مختلف را داشته باشیم.

مراجع

[1] Plamondon R., Guerfali W., The generation of handwriting with delta-lognormal synergies, J. Biol. Cybern. 1998; 78: 119-132.

[2] Billard A., Learning motor skills by imitation: a biologically inspired robotic model, An International Journal of Cybernetics and Systems 2001; 32:155-193.

[3] Grossberg S., Paine R.W., A neural model of cortico-cerebellar interactions during attentive imitation and predictive learning of sequential handwriting movements, J. Neural Networks 2000; 13:999-1046.

[4] Bezine H., Alimi A.M., Sherkat N., Generation and Analysis of handwriting script with the beta-eliptic model, I.J. of Simulation 2004; 8: 515-520.

[5] Hollerbach J.M., An oscillation theory of handwriting, J. Biol. Cybern 1981; 39: 139-156.

[6] Edelman S., Flash T., A model of handwriting, J. Biol. Cybern 1987; 57: 25-36.

[7] Morasso P., Mussa Ivaldi F.A., Trajectory formation and handwriting: a computational model, J. Biol. Cybern. 1982; 45: 131-142.

[8] Bouslama F., Benrejeb M., Exploring the human handwriting process, Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. 2000; 10: 877- 904.

[9] Wada Y., Kawato M., A theory for cursive handwriting based on the minimization principle, Biological Cybernetics 1995; 73: 3-13.

[10] Paine R.W., Grossberg S, Van Gemmert A.W.A, A quantitative evaluation of the AVITEWRITE model of

[20] Static

[21] Dynamic

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org

handwriting learning, J. Human Movement Science 2004; 23: 837-860.

[11] Billard A., Learning motor skills by imitation: a biologically inspired robotic model, An International Journal of Cybernetics and Systems; 2001; 32: 155-193.

[12] Schaal S., Is imitation learning the route to humanoid robots, Trends in Cognitive Sciences, 1999; 3:233-242.

[13] Schaal A., Ljspeert A., Billard A., Computational approaches to motor learning by imitation, Philosophical Transaction of the Royal Society of London: Series B, Biological Sciences 2003; 358:537-547.

[14] Soechting J., Terzuolo C., Organization of arm movements. Motion is segmented, Neuroscience 1987; 23: 39–51.

[15] Ricci E., Letch N., Psychology in Action: An Introductory Text, Published by Macmillan Education Australia; 2004.

[16] McNichol A., Andrea M., Nelson J.A., Handwriting Analysis: Putting it to Work for You, Published by McGraw-Hill Professional; 1994

[17] Tucha O., Mecklinger L., Walitza S.and Lange K.W., Attention and movement execution during Handwriting, Human Movement Science, 2006; 25: 536–552.

[18] Van Zomeren A.H.and Brouwer W.H., Clinical neuropsychology of attention, New York: Oxford University Press, 1994.

[19] Abend W., Bizzi E., Morasso P., Human arm trajectory formation, J. Brain. 1982; 105.331-348.

© Copyright 2009 ISBME, http://www.ijbme.org