

طراحی پارچه‌های تار و پودی با استفاده از الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای

مسعود لطیفی^{۱*}، پدram پیوندی^۲، محمد امانی‌تهران^۳ و حسین اکبری‌مؤید^۴

^۱استاد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۲دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۳استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۴کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

تغییر طرح در بافندگی یکی از عوامل مهم در تغییر ظاهر و همچنین خصوصیات فیزیکی پارچه می‌باشد. به طوری که با شرایط کاملاً یکسان از نظر نوع و نمره نخ و نوع رنگ‌بندی نخ‌های تار و پود در پارچه، با تغییر طرح بافت می‌توان پارچه‌های کاملاً متفاوت تولید نمود. با توجه به اهمیت این موضوع و با توجه به این که ایجاد طرح‌های جدید بصورت دستی مشکل و زمان‌بر می‌باشد، طراحی سامانه کمک طراحی که توانایی ایجاد طرح بر اساس نظرسلیقه کاربر را داشته باشد مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور استفاده از الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای مورد نظر قرار گرفت. در روش الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای طرح‌ها به طور خودکار تولید می‌گردد و با ارزشیابی کاربر، طرح‌ها بر اساس محاسبات تکاملی اصلاح می‌شوند. با تکرار این چرخه در نهایت طرح مورد نظر کاربر تولید می‌گردد.

کلمات کلیدی:

الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای، طرح بافت، بافندگی تار و پودی

Woven Pattern Design Using Interactive Algorithm Genetic

M.Latifi *, P. Peivandi, M. Amani-Tehran and H. Akbari-Moayed
Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology

Abstract

This paper is to introduce a new method for the design of woven pattern applying interactive genetic algorithm. Basic chromosomes, which contain pattern dimensions and warps path (over or under wefts), are required to be defined. Two operators of mutation and crossover are used to produce new generations. User is eligible to input her/his judgments about generated chromosome to the algorithm proportionally. Using different genetic operators as well as designer's preferences and desires, the algorithm is capable of creating new woven fabric pattern mixing preferred chromosome from last pattern generation.

Keyword:

Interactive Genetic Algorithm, Woven Pattern, Weaving

۱-مقدمه

الگوریتم ژنتیک یک روش انطباقی از طبیعت است که براساس فرآیندهای ژنتیکی ارگانیسم‌های بیولوژیک عمل می‌کند که در چندین نسل جمعیت موجود طبق اصول انتخاب طبیعی و "بقای بهترین" نوع نمو می‌کنند. این موضوع اولین بار توسط چارلز داروین در اصول بقای گونه‌ها مطرح شد. اصول بنیادی الگوریتم ژنتیک (GAS) نخستین بار در سال ۱۹۷۵ توسط Holland مطرح شد [۱].

در طبیعت، موجودات زنده برای بقاء باهم رقابت می‌کنند و آن‌هایی که از قدرت بالاتری برخوردارند امکان تولید نسل و زاد و ولدشان بیشتر است. به بیان دیگر می‌توان گفت ژن‌هایی که دارای قدرت سازگاری و بهینه شدن بالایی را دارند در هر تولد نسلی گسترش یافته و نوع خود را افزایش می‌دهند.

ترکیب مشخصات خوب از والدین مختلف، گاهی می‌تواند فرزندی با برازندگی^۱ بالا را ایجاد کند که مقدار آن بسیار بیشتر از تک‌تک والدین است.

GAS با جمعیت حاصل از کروموزوم‌ها که هر کدام از آن‌ها بیانگر یک جواب ممکن برای حل مسئله مطرح شده است کار می‌کند. هر کروموزوم با مقدار صلاحیت و برازندگی خود که بیانگر جواب مطلوب مسئله است نمایش داده می‌شود. کروموزوم‌های با صلاحیت بالا در فرآیند تولید مثل با کروموزوم‌های دیگر جمعیت، شانس بیشتری برای تولید مجدد^۲ دارند و کروموزوم‌های با صلاحیت پایین احتمال کمتری برای انتخاب در این عمل پیدا می‌کنند بنابراین از بین می‌روند.

جمعیت جدید از انتخاب بهترین کروموزوم‌های نسل فعلی و از جفت‌گیری آن‌ها باهم، تولید می‌گردد. این نسل جدید دارای سهم بیشتری از مشخصات اعضای مطلوب نسل قبلی است. بدین طریق در چندین نسل مشخصات خوب توسط جمعیت گسترش یافته و با مشخصات خوب دیگر مخلوط و مبادله می‌شود. با این عمل بیش‌ترین فضای خوش‌آبیه از فضای جستجو بررسی می‌گردد، اگر الگوریتم ژنتیک به

خوبی طراحی شده باشد جمعیت به جواب بهینه مسئله رسیده و در آن همگرا^۳ می‌گردد.

مراحل عمومی الگوریتم ژنتیک به صورت زیر می‌باشد شکل (۱-۱) [۱]:

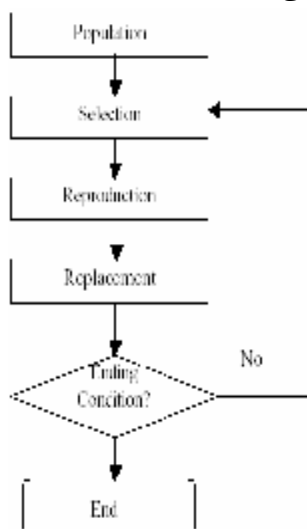
مرحله‌ی اول: قرار دادن خواص به صورت ژن در کروموزوم و آغاز تولید جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها^۴

مرحله‌ی دوم: محاسبه‌ی برازندگی برای هر کروموزوم در جمعیت با استفاده از تابع برازندگی

مرحله‌ی سوم: تولید دوباره جمعیت با توجه به مقدار برازندگی برای هر کروموزوم

مرحله‌ی چهارم: انجام دورگه شدن و جهش در جمعیت.

مرحله‌ی پنجم: بازگشت به مرحله دوم تا ثابت شدن شرایط همگرایی



شکل (۱-۱) مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک [۱]

هر کروموزوم از یک رشته بیتی تشکیل شده و عمل دورگه شدن به وسیله تبادل اطلاعات قسمتی از کروموزوم والدین صورت می‌گیرد، که تقلیدی از دورگه شدن در جهان واقعی می‌باشد و باعث ارث بردن نسل‌ها از والدین می‌شود. در عمل جهش اطلاعات بخشی از بیت‌های کروموزوم معکوس می‌شود که در جهان واقعی

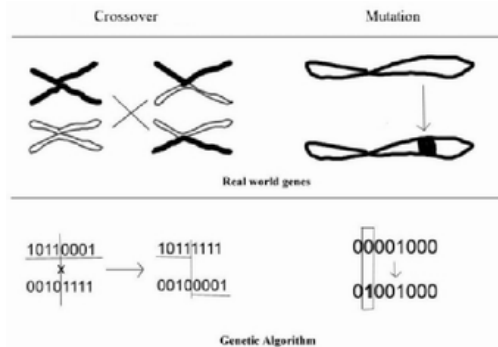
³ Converge

^۴ درهسته سلولها، شبکه ای از رشته های طویل وباریک وغیرمشخص وجود دارد که کروموزوم نامیده می‌شودو ژنهابرروی آنهاقرار می‌گیرند.

¹ Fitness

² Reproduction

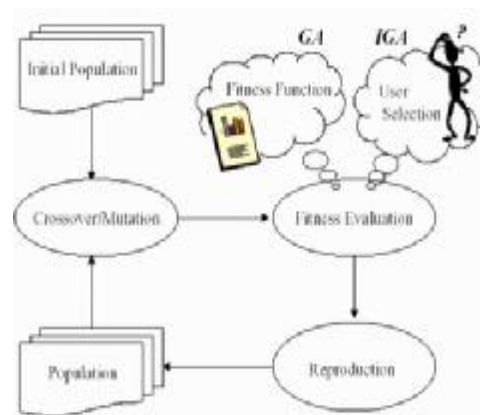
نمونه‌های جهش را به ندرت مشاهده می‌کنیم شکل (۲-۱).



شکل (۲-۱) طریقه دورگه شدن و جهش در کروموزوم [۱]

در مسائلی که با الگوریتم ژنتیک حل می‌شوند احتیاج به تابع برازندگی می‌باشد که این تابع متناسب با مسئله مورد نظر وضع می‌شود که می‌تواند به صورت تناسب عددی ساده یا ترکیبی از چندین فرمول پیچیده باشد.

اما در تمامی مسائل نمی‌توان از تابع برازندگی استفاده نمود زیرا در بعضی موارد پیدا کردن تابع برازنده مناسب بسیار مشکل و در بعضی از حالات مثل مسئله طراحی بافت غیر ممکن می‌باشد. زیرا اساس طراحی بر سلیقه شخص طراح است و تابعی که بتواند به جای سلیقه افراد عمل کند وجود ندارد [۳و۲].



شکل (۲-۳) تفاوت IGA و GA [۲]

برای حل اینگونه مسائل که امکان استفاده از تابع برازندگی وجود ندارد از روش الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای (IGA⁵) استفاده می‌شود. در این روش از تابع برازندگی استفاده نمی‌شود و برای تعیین میزان برازندگی از نظر کاربر استفاده می‌شود شکل (۳-۱) [۲].

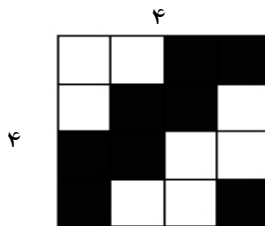
۲- روش کار

روش کلی در الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای طراحی شده در این نرم افزار دارای مراحل زیر می‌باشد:

۲-۱ انتخاب کروموزوم‌ها و کدگذاری

اولین مسئله در الگوریتم ژنتیک انتخاب کروموزوم‌ها و کدگذاری آن‌ها است. در این تحقیق کروموزوم‌ها دارای مشخصات زیر می‌باشند:

- ابعاد: طول و عرض طرح (تعداد پود و تعداد تار در یک تکرار از طرح)
- زیر یا رو بودن تار در هر یک از خانه‌های طرح: در اینجا خانه‌های رنگی به معنای رو بودن تار و خانه‌های سفید به معنای زیر بودن تار می‌باشد (شکل ۱-۲).



شکل (۲-۱) یک کروموزوم

۲-۲ عمل‌گرها

برای تولید نسل جدید از نسل قبلی یک سری عمل‌گر تعریف شده‌اند، زیرا الگوریتم‌های ژنتیک برای ادامه کار نیاز به عمل‌گرهای جهش و دورگه شدن دارند [۴و۵].

⁵ Interactive Algorithm genetic

هریک از عمل‌گرهایی که در بخش‌های بعدی تعریف شده‌اند می‌توانند در دو جهت تار یا پود عمل نمایند.

۲-۲-۱ عمل‌گر جهش

این عمل‌گر برای ایجاد تغییر در طرح به دو روش عمل می‌نماید:

- جزئی: در حالت تغییر جزئی، به طور تصادفی یک نقطه از طرح انتخاب می‌شود و حالت آن برعکس می‌شود. یعنی اگر در آن نقطه تار رو بود زیر می‌رود و اگر زیر بود رو می‌آید.

- کلی: در حالت تغییر کلی، به طور تصادفی یک تار (یا یک پود) از طرح انتخاب می‌شود و خانه‌های آن بطور تصادفی پر و خالی می‌شوند، یعنی آن تار (یا پود) به طور کامل تغییر می‌نماید.

در مورد عمل‌گرهای جهش برای ایجاد فرد جدید در هر بار فقط از یک فرد خانواده استفاده می‌شود و فقط یک فرزند تولید می‌شود [۵].

۲-۲-۲ عمل‌گر دو رگه شدن (ترکیب)

عمل‌گر دو رگه شدن نیز مانند عمل‌گر جهش شامل دو دسته کلی و جزئی می‌باشد با این تفاوت که در مورد این عمل‌گر تقسیم بندی دیگری نیز وجود دارد یعنی چه در حالت ترکیب کلی و چه در حالت ترکیب جزئی عمل‌گر می‌تواند بصورت تصادفی و یا منظم عمل نماید. تفاوت دیگر این عمل‌گر با عمل‌گر جهش در این است که عمل‌گر دو رگه شدن برای اعمال اثر خود به هر دو نفر خانواده نیاز دارد و پس از اعمال این عمل‌گر بر روی خانواده دو فرزند تولید می‌شود که هر یک قسمتی از خصوصیات افراد خانواده را به ارث برده‌اند [۵].

با توجه به تقسیم بندی بالا چهار حالت برای عمل‌گر دو رگه شدن بوجود می‌آید که در زیر توضیح مختصری در مورد آن‌ها داده می‌شود. البته این چهار عمل‌گر می‌توانند در هر دو جهت تار و پود عمل کنند.

- عمل‌گر دو رگه شدن کلی منظم

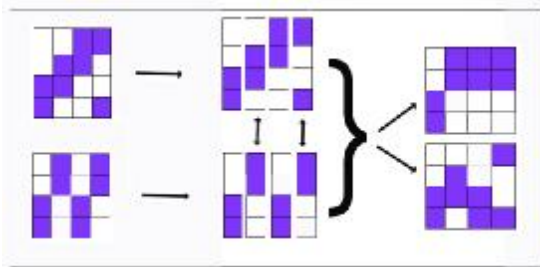
این عمل‌گر هر دو طرح را از وسط شکافته و قسمت‌های اول هر طرح را با قسمت دوم طرح دیگر متصل می‌کند به این ترتیب دو فرزند جدید تولید می‌شود.

- عمل‌گر دو رگه شدن کلی تصادفی

این عمل‌گر هر دو طرح را از یک نقطه تصادفی شکافته و قسمت‌های اول هر طرح را با قسمت دوم طرح دیگر متصل می‌کند به این ترتیب دو فرزند جدید تولید می‌شود.

- عمل‌گر دو رگه شدن جزئی منظم

در این نوع عمل‌گر دو طرح به طور عمقی تری با هم ترکیب می‌شوند. یعنی مثلاً اگر ترکیب در جهت تار باشد، تارها یک در میان با هم جابجا می‌شوند و به این ترتیب دو فرزند جدید تولید می‌شود (شکل ۲-۲).



شکل (۲-۲) یک مثال از دو رگه شدن جزئی منظم در جهت تار

- عمل‌گر دو رگه شدن جزئی تصادفی

این نوع عمل‌گر نیز دو طرح را به طور عمقی با هم ترکیب می‌نماید. فرق این عمل‌گر با عمل‌گر دو رگه شدن جزئی منظم در این است که در عمل‌گر دو رگه شدن جزئی تصادفی تارهایی که با هم جابجا می‌شوند به طور تصادفی انتخاب می‌شوند و به این ترتیب دو فرزند جدید تولید می‌شوند (شکل ۲-۳).

تمام تارها به کاربر نمایش داده می‌شود و با تشخیص کاربر این اختلافات اصلاح می‌گردد.

۳- ساختمان برنامه

نرم افزار طراحی شده شامل قسمت‌های مختلف می‌باشد که عبارتند از:

- قسمت ذخیره سازی طرح‌های موجود و استاندارد
- قسمت ایجاد طرح جدید توسط عمل‌گرهای تعریف شده در سامانه به صورت دستی
- رابط کاربر و ایجاد نسل جدید توسط الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای
- بخش تنظیم احتمال عمل عمل‌گرها
- قسمت مشاهده اثر رنگبندی و تکرار طرح در ادامه توضیح این بخش‌ها آمده است.

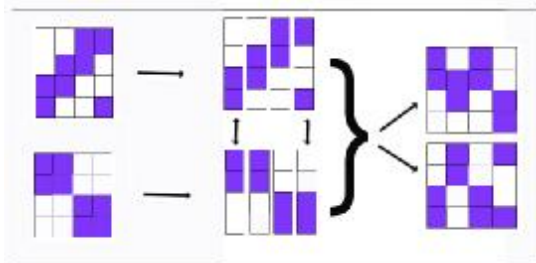
۳-۱ ذخیره سازی طرح‌های موجود و استاندارد

در این نرم افزار یک قسمت جهت وارد کردن و ذخیره سازی طرح‌های موجود در صنعت قرار داده شده است تا در تولید طرح‌های جدید از این طرح‌ها کمک گرفته شود. در این قسمت می‌توان هر طرح با هر ابعادی را با نام خاص خود ذخیره سازی نمود.

۳-۲ قسمت ایجاد طرح جدید توسط عمل‌گرهای

تعریف شده در سامانه به صورت دستی

همان طور که در فصل قبلی گفته شد در این نرم افزار حدود ۱۲ نوع عمل‌گر (چهار نوع جهش و هشت نوع دو رگه شدن) تعریف شده است. برای اینکه بتوان اثر این عمل‌گرها را روی بافت‌های مختلف مشاهده نمود، قسمتی در نرم افزار گنجانده شده است که تاثیر عمل‌گرهای مورد نظر را روی طرح‌های انتخابی نشان می‌دهد (شکل ۱-۳).



شکل (۲-۳) یک مثال از دو رگه شدن جزئی تصادفی در جهت تار

یک دیدگاه رایج این است که کپی موجب بقای نسل قوی قبلی می‌شود و عمل دو رگه شدن مهمترین طریق در میان عمل‌گرها برای جستجوی سریع در فضای محتمل است. عمل جهش نیز فضای تصادفی کوچکی را فراهم می‌آورد و در اطمینان به این که هیچ نقطه‌ای در فضای جستجو احتمال بررسی صفر را نداشته کمک می‌کند [۴ و ۵].

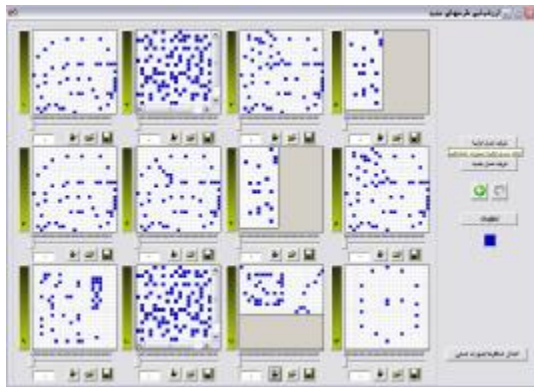
۳-۲ تنظیم میزان احتمال اثر عمل‌گرها

برای اینکه بتوان اثر عمل‌گرهای قوی‌تر را افزایش داد، باید احتمال آن‌ها را تنظیم نمود. به همین دلیل در نرم افزار بخشی جهت تنظیم احتمالات در نظر گرفته شده است که احتمال اثر هر عمل‌گر در آن بخش تنظیم می‌گردد.

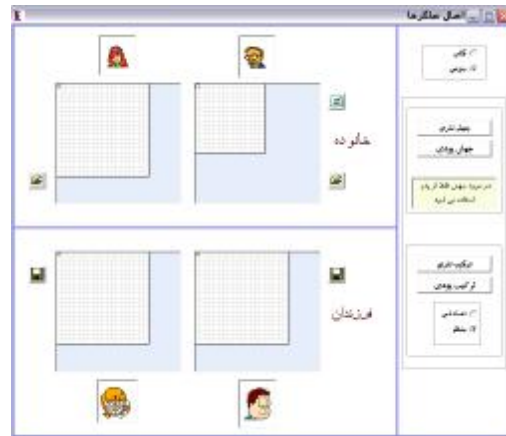
۴-۲ کنترل طرح‌های ایجاد شده

از آنجایی که پس از تولید نسل جدید یک سری تغییرات تصادفی و از پیش تعیین نشده در طرح جدید بوجود می‌آید، پس از تولید هر طرح جدید باید یک سری کنترل‌ها روی طرح انجام گیرد تا از قابلیت داشتن طرح برای بافت بصورت عملی اطمینان حاصل گردد.

برای این کنترل، بعد از تولید هر طرح تعداد بالا و پایین رفتن نخ تار در هر تار از طرح شمرده می‌شود. زیرا اگر این تعداد در تمام تارها یکسان باشد میزان بافت رفتگی همه تارها یکسان می‌شود و در نتیجه طرح ایجاد شده به واقعیت نزدیکتر می‌گردد. اگر این تعداد برای تمام تارها یکسان نبود، کاربر بطور دستی با تغییر دادن در طرح این موضوع را تصحیح می‌نماید. یعنی تعداد بالا و پایین رفتن نخ تار در



شکل (۳-۲) تصویری از قسمت رابط کاربر



شکل (۳-۱) تصویری از قسمت اعمال عمل‌گرها بصورت دستی

تولید جمعیت اولیه در این نرم افزار از یکی از سه راه زیر و یا تلفیقی از هر سه انجام می‌گردد:

- انتخاب هم‌زمان ۱۰۰ طرح به طور تصادفی از بین طرح‌های موجود و تکرار این انتخاب تا احساس رضایت نسبی کاربر از ظاهر کلی ۱۰۰ طرح انتخاب شده؛
- انتخاب تصادفی برای هر یک از ۱۰۰ طرح و تکرار این انتخاب تا زمان رضایت نسبی کاربر از هر یک از طرح؛
- انتخاب هر یک از ۱۰۰ طرح بصورت از پیش تعیین شده از بین طرح‌های موجود.

در هر زمانی از اجرای برنامه کاربر می‌تواند هر یک از طرح‌های ایجاد شده را که بخواهد ذخیره سازی نماید و یا بصورت دستی تغییراتی در آن ایجاد نماید تا طرح‌ها را به نظر خود نزدیک‌تر نماید تا سرعت هم‌گرایی برنامه افزایش یابد و در تعداد کمتری از تولید نسل کاربر به جواب برسد.

پس از اینکه جمعیت اولیه تهیه شد با زدن دکمه "تولید نسل جدید" یک جمعیت جدید با در نظر گرفتن امتیاز داده شده به هر طرح و احتمال تنظیم شده برای هر عمل‌گر تولید می‌گردد. تعدادی از طرح‌هایی که امتیاز بیشتری داشته‌اند در نسل جدید تکرار می‌شوند و تعدادی هم که امتیاز آن‌ها از یک حدی کم‌تر بوده است حذف می‌شوند. و بقیه توسط الگوریتم ژنتیک مجدداً تولید می‌گردند [۷].

۳-۳ رابط کاربر و ایجاد نسل جدید توسط الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای

همان طور که گفته شد در الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای تابع برازندگی تعریف نمی‌شود به همین دلیل نرم افزارهایی که از الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای استفاده می‌کنند، دارای یک قسمت به نام رابط کاربر می‌باشند که در این قسمت کاربر خود شخصا به ارزش گذاری روی افراد تولید شده می‌پردازد [۶].

در نرم افزار موجود تعداد افراد هر نسل ۱۰۰ طرح در نظر گرفته شده است. به همین دلیل چون امکان نمایش بیشتر از ۱۲ طرح بطور هم‌زمان در صفحه نمایش به کاربر وجود ندارد برای امتیازدهی به این طرح‌ها کاربر این طرح‌ها را ۱۲ تا ۱۲ تا امتیاز می‌دهد و به صفحه بعدی می‌رود پس از اتمام کار نرم افزار طرح‌ها را بصورت نزولی از نظر امتیاز مرتب می‌کند و آن‌هایی که امتیازی بیشتری دارند را در صفحه اول نمایش می‌دهد. برای امتیاز دادن به این طرح‌ها یک میله لغزنده در زیر هر طرح قرار داده شده است که کاربر می‌تواند بوسیله آن و یا بصورت نوشتن به طرح امتیاز دهد. نمای کلی این قسمت در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است.

تمامی امکاناتی که در مورد جمعیت اولیه گفته شد(از قبیل انتخاب تصادفی تمام طرح‌ها، انتخاب هر طرح توسط کاربر، تغییر جزئیات طرح‌ها، ذخیره سازی طرح‌ها و...) در مورد نسل‌های جدید هم وجود دارد. هم‌چنین امکان دیگری که در این قسمت وجود دارد این است که با فشار دکمه سمت چپ ماوس روی هر طرح دو طرح مشابه آن به کاربر نمایش داده می‌شود تا کاربر بتواند آسان‌تر به آن‌ها امتیازدهی نماید.

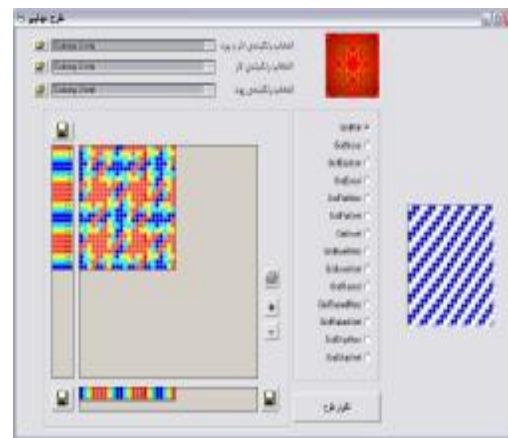
در هر زمان از اجرای تولید نسل، برنامه‌ی امکان بازگشت به مرحله قبلی و بعدی را نیز دارد.

۳-۴ تنظیم احتمال اثر عمل‌گرها

برای این که عمل‌گرهای قوی‌تر اثر بیش‌تری در تولید نسل جدید داشته باشند باید احتمال اثر آن‌ها تنظیم گردد. به همین دلیل قسمتی در برنامه در نظر گرفته شده که احتمال عمل هر یک از عمل‌گرها در آن قسمت تنظیم و ذخیره می‌گردد. این تنظیم احتمال با نسبت دادن عددی بین صفر تا ۱۰۰ به هر عمل‌گر انجام می‌گیرد [۶].

۳-۵ مشاهده‌ی اثر رنگ‌بندی

در قسمت رابط کاربر یک دکمه در کنار هر طرح وجود دارد که با زدن آن دکمه طرحی که مربوط به آن باشد، به قسمت رنگ‌بندی برنامه انتقال می‌یابد (شکل ۳-۳).

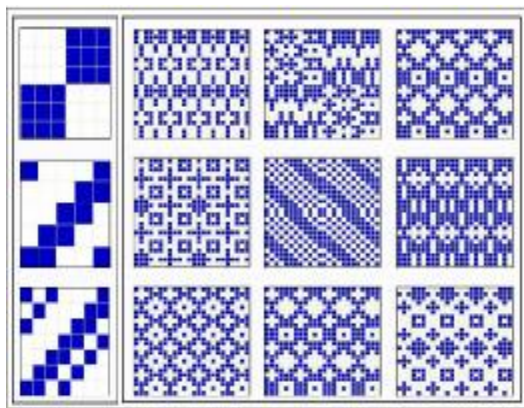


شکل (۳-۳) تصویری از قسمت رنگ‌بندی

در این قسمت می‌توان رنگ‌بندی تار یا پود را به طور جداگانه یا هم‌زمان تغییر داد و اثر آن را روی پارچه مشاهده نمود. در هر زمان در این قسمت می‌توان با زدن دکمه تکرار، ۸ تکرار از طرح را در کنار آن مشاهده نمود.

۵- تجارب

در شکل ۴-۳ یک نمونه طراحی نشان داده شده است که از سه طرح سمت چپ ۹ طرح، که فقط در طی ۳ تولید نسل بدست آمده است، در سمت راست نمایش داده شده است. این مثال نشان دهنده سرعت هم‌گرایی بسیار بالا است.



شکل (۴-۳) ۹ طرح سمت راست از ۳ طرح سمت چپ بدست آمده‌اند. (یعنی در هنگام تولید نسل بیشترین امتیاز در بین طرح‌ها به سه طرح سمت چپ داده شده است)

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به تجربه و کارهای انجام گرفته، به نظر می‌رسد که الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای راه مناسبی را در مورد خلق طرح‌های جدید و امور دیگری در نساجی که خلاقیت در آن مؤثر است پیش روی محققان قرار داده است.

مثلا در زمینه طراحی به این طریق می‌توان طرح‌هایی ایجاد نمود که هم به طرح‌های قبلی شباهت داشته باشند و هم خلاقیت و نوآوری در آن بکار گرفته

از آن جایی که نرم افزار تهیه شده فقط در محدوده بافندگی تار و پودی عمل می‌نماید، می‌توان در آینده این نرم افزار را جهت استفاده در انواع طراحی منسوجات بهینه سازی نمود.

هم‌چنین با تکمیل این نرم افزار و اضافه کردن قسمت تولید مدهای جدید توسط الگوریتم ژنتیک محاوره‌ای و گرافیک سه بعدی جهت نمایش به کاربر، می‌توان این نرم افزار را به یک نرم افزار کاربردی مناسب جهت صنعت بافندگی و پوشاک تبدیل نمود.

شده است. این خود گامی در جهت مدرنیزه کردن طراحی در نساجی می‌باشد که در آن از تلفیقی از سرعت پردازش رایانه و خلاقیت انسان استفاده شده است.

در این تحقیق سعی بر این بوده است که علاوه بر استفاده از رایانه در طراحی و استفاده از تلفیق طرح‌های جدید، از قدرت زیبایی شناسی و خلاقیت انسان نیز در طراحی‌ها استفاده گردد.

هم‌چنین می‌توان برنامه را به طور هوشمند طراحی کرد که پس از تولید هر نسل خودش به طرح‌ها امتیاز دهد و به کاربر نمایش دهد تا زمان امتیاز دهی کوتاه‌تر گردد و برنامه بتواند طرح‌های مشابه را به کاربر معرفی نماید.

منابع:

- [1] D. Beasley., D.R. Bull and R.R Martin, "*An Overview of Genetic Algorithms: Part I, Fundamentals*", University Computing, 15(2), 58-69, 1993.
- [2] H. SuKim and S. BaeCho, "*Application of Interactive Genetic Algorithm to Fashion Design* ", Department of Computer Science, Yonsei University.
<http://candy.yonsei.ac.kr/publications/Papers/AIGAFD.pdf>
- [3] S.BaeCho. "*Towards Creative Evolutionary System With Interactive Genetic Algorithm*", Department of Computer Science, Yonsei University.
<http://candy.yonsei.ac.kr/publications/Papers/TCESIGA.pdf>
- [4] ص. اسماعیلی، "کاهش ضایعات تولیدات پوشاک بهنگام برش پارچه برای الگوهای ساده"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸.
- [5] پ. پیوندی، "بهینه سازی روش جایگذاری الگوها با در نظر گرفتن چندین دسته الگو و چرخش قطعات"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [6] پ. پیوندی و م. لطیفی، "طراحی مد به کمک الگوریتم ژنتیک نیمه خودکار"، نخستین همایش صنعت پوشاک، سازمان فنی و حرفه‌ای کشور، ۱۳۸۵.
- [7] Y.Nakanishi., "*Applying Evolutionary Systems to design aid system*", Faculty of Engineering, University of Tokyo.
<http://naka1.hako.is.uec.ac.jp/papers/GP96/GP96.html>