

توسعه و بهبود پایگاه دانش بصورت همزمان با استفاده از یک مدل هایبرید یادگیری

علیرضا تمدنی نژاد
کارشناس ارشد
محمدرضا میبیدی
عضو هیئت علمی
دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران، کدپستی ۱۵۹۱۴
(e-mail: tamaddon@ce.aku.ac.ir)

چکیده

موفقیت سیستم‌های هوشمند مبتنی بر پایگاه دانش در حل مسائل جهان واقعی مستلزم صحت، دقت و بهنگام بودن دانشی است که استنتاج سیستم بر اساس آن صورت می‌گیرد. در اغلب تعاریف موجود، دانش بعنوان یک مفهوم مجرد و مستقل از زمان معرفی می‌شود و این درحالی است که منشاء دانش یعنی ادراک، خود محصول یک فرآیند تکاملی می‌باشد. در نظر نگرفتن ماهیت تکاملی دانش موجب شده که اغلب روشهای ساخت یافته در مهندسی دانش و همچنین روشهای یادگیری ماشینی که بمنظور ساخت و توسعه پایگاه دانش ارائه شده‌اند بر تفکیک مراحل اکتساب و بهره‌برداری از دانش تأکید داشته باشند. از طرفی در بعضی از حوزه‌های کاربردی شرایط حاکم بر پدیده‌ها دستخوش تغییر است و بنابراین سیستم بایستی بتواند دانش موجود را مطابق شرایط جدید بهنگام سازد. در این مقاله مدلی برای یک سیستم یادگیری ارائه میشود که می‌تواند همزمان با بهره‌برداری از پایگاه دانش، دانش موجود را بهبود بخشیده و موجب افزایش کارایی و بهبود عملکرد سیستم گردد. فرآیند یادگیری در این سیستم ترکیبی از روشهای نمادین و شبه نمادین بوده و به دو شکل تعدیل ساختاری و تعدیل پارامتری انجام می‌شود. در تعدیل ساختاری که توسط اپراتورهای تبدیل و بر روی مؤلفه‌های نمادین موجود در مجموعه قواعد انجام می‌شود، ساختارهای موجود تعمیم داده شده و یا یک مفهوم مشترک بین ساختارهای موجود بعنوان ساختار جدید معرفی می‌شود. انتخاب هر قاعده توسط سیستم بر اساس وزن یا میزان قوت آن قاعده انجام می‌شود. وظیفه تعدیل پارامتری تنظیم و بهبود قوت قواعد است که بر اساس نحوه عملکرد هر قاعده و نقش آن در استنتاج سیستم صورت می‌گیرد. معرفی فضای جستجوی بهینه برای اعمال تبدیلات ساختاری توسط اپراتورهای ژنتیکی انجام می‌شود. معیار شایستگی که توسط این اپراتورها استفاده می‌شود قوت قواعد است که بطور مداوم توسط بهبود پارامتری بهنگام می‌شود.

کلمات کلیدی: سیستم‌های خبره، یادگیری ماشینی، سیستم‌های هوشمند هایبرید، الگوریتم‌های ژنتیکی

۱ - مقدمه

مهمترین کاربرد سیستم‌های مبتنی بر پایگاه دانش کمک به کاربر در حل مسائل جهان واقعی می‌باشد. بخاطر پیچیدگی و ناهمگونی ذاتی که بر پدیده‌های جهان حاکم است و همچنین عدم ثبات شرایط حاکم بر پدیده‌ها، لازم است قابلیت‌های ویژه‌ای در سیستم‌های مبتنی بر پایگاه دانش تعبیه شود. ناهمگونی ذاتی مسائل جهان این ضرورت را ایجاد می‌کند که سیستم‌های هوشمند بتوانند برای حل این مسائل از روشهای کاملاً متفاوتی استفاده کنند. همچنین تغییرات شرایط حاکم بر مسئله، لزوم بهبود و اصلاح مداوم روش حل مسئله را ایجاد می‌کند. صرف نظر از پیچیدگی بعضی از مسائل جهان واقعی و لزوم حساسیت روشهای استفاده شده نسبت به این پیچیدگی‌ها، در مورد کاربردهای ساده‌تر نیز که موفقیت سیستم‌های هوشمند تأیید شده است مرحله ایجاد و نگهداشت پایگاه دانش به عنوان یک گلوگاه در مسیر ساخت و استفاده از سیستم‌های هوشمند مبتنی بر پایگاه دانش مطرح می‌گردد [Muggleton 87]. استفاده از روشهای یادگیری ماشینی بمنظور ساخت و توسعه پایگاه دانش علاوه بر این که هزینه و زمان را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد، در کیفیت پایگاه دانش و دقت آن تأثیر فراوان دارد و عاری از خطاهایی است که معمولاً در روشهای غیر خودکار به خاطر اشتباهات انسانی رخ می‌دهد [Muggleton 91].

ابزارهایی که به منظور ساخت و توسعه پایگاه دانش استفاده گردیده‌اند اغلب از روشهای یادگیری استقرایی استفاده می‌کنند. در این روشها دانش جدید با مشاهده و تحلیل مجموعه‌ای از مثالهای آموزشی ایجاد می‌گردد. از جمله این روشها می‌توان به ID3 [Quinlan 83] و AQn [Michalski 83] اشاره کرد. در مورد این روشها چند نکته حائز اهمیت می‌باشد؛ اول اینکه این روشها اغلب در مورد مجموعه مثالهایی که ناقص و یا همراه با نویز هستند بطور درست عمل نمی‌کنند [Forsyth 86]. نکته دیگر اینکه در این روشها امکان وزن دادن به مشخصه‌ها^(۱) وجود ندارد بنابراین نمی‌توان اهمیت مشخصه‌ها را درجه‌بندی کرد. همچنین در این روشها قابلیت توضیح فرآیند یادگیری توسط سیستم وجود ندارد. علاوه بر موارد ذکر شده مشکل اساسی این روشها این است که چون روی مجموعه آموزشی^(۲) عمل می‌کنند با اضافه کردن یک نمونه جدید باید مرحله آموزش را روی همه مثالها به اضافه نمونه جدید تکرار کنیم و اگر مجموعه مثالها بزرگ باشد تکرار این عمل هزینه زیادی خواهد داشت. بنابراین اغلب روشهای متداول بمنظور ایجاد پایگاه دانش و فاز اکتساب دانش^(۳) مناسب می‌باشند از طرفی ما به دلایل مختلف نیاز داریم که پایگاه دانش را پس از ایجاد اصلاح کنیم. از جمله این دلایل یکی اینکه مقادیر اولیه پارامترهای موجود در پایگاه دانش (مثلاً وزن قواعد) مقادیر تخمینی هستند (خصوصاً اگر از روشهای استقرایی برای ایجاد آنها استفاده شده باشد) و عموماً این دقت تخمینی از دقت عمل لازم برای محیط عملیاتی کمتر است. بنابراین برای افزایش دقت عمل پایگاه دانش باید پارامترهای موجود از جمله وزن قواعد را درحین استفاده تصحیح نمود تا به دقت عمل واقعی نزدیک شود. و دلیل دیگر اینکه در بسیاری از کاربردها پارامترهای تصمیم‌گیری در کوتاه مدت ثابت هستند ولی بتدریج ممکن است تغییر کنند و یا حتی پارامترهای جدیدی مطرح شوند بنابراین در این حالت نیز به بهبود و اصلاح پایگاه دانش نیاز داریم.

مدلی که در این مقاله معرفی می‌شود شامل یک سیستم یادگیری است که همزمان با عملیات سیستم می‌تواند پایگاه دانش را بهبود و توسعه دهد. فرآیند یادگیری در این سیستم به دو شکل تعدیل ساختاری و تعدیل پارامتری انجام می‌شود به این ترتیب که در حین فرآیند یادگیری ساختارها و پارامترهای موجود در پایگاه دانش به نحوی اصلاح و تعدیل می‌شوند که استنتاج سیستم بر اساس ساختارها و پارامترهای جدید دقیق‌تر و سریعتر انجام می‌شود. در بخش بعدی این مقاله مدلی بمنظور بهبود ساختاری و پارامتری پایگاه دانش که در آن از چند روش یادگیری استفاده شده ارائه خواهد گردید. در بخش سوم ویژگیهای مهم مدل ارائه شده تشریح می‌گردد و در بخش چهارم نمونه‌هایی از اجرای سیستم و نتایج بدست آمده ارائه خواهد شد.

۲ - مدلی بمنظور توسعه و بهبود پایگاه دانش

در مدلی که در این بخش معرفی می‌شود توسعه و بهبود پایگاه دانش به دو صورت بهبود ساختاری و بهبود پارامتری توسط ماجول یادگیری^(۴) و در کنار عملیات عادی سایر اجزاء سیستم انجام می‌شود. ماجول یادگیری و ارتباط آن با سایر اجزاء سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است. در ادامه این بخش دو جنبه مختلف یادگیری در این مدل را بررسی خواهیم کرد.

۱-۲ - تعدیل ساختاری (Structural Modification)

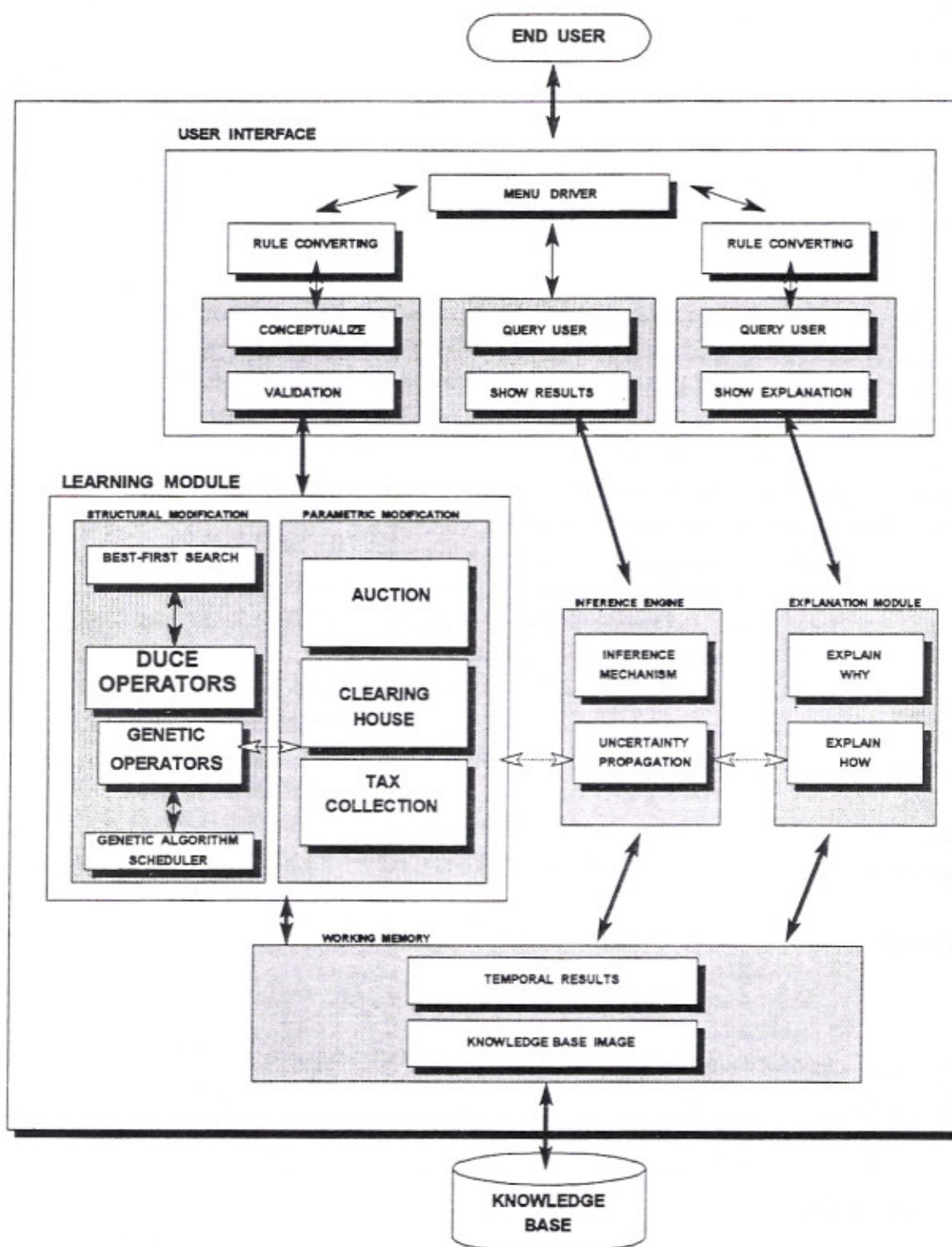
هدف از توسعه و بهبود پایگاه دانش بالا بردن میزان کارایی و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم می‌باشد. در تعدیل ساختاری این کار با بهبود و اصلاح ساختارهای موجود در پایگاه دانش انجام می‌شود به این ترتیب که ممکن است چند قاعده با هم ترکیب شوند و قواعد جدیدی را ایجاد کنند و یا شرایط موجود در یک قاعده تعمیم پیدا کرده و یا اصلاح شود و یا حتی از ساختارهای موجود یک مفهوم جدید استخراج شده و به عنوان یک ساختار جدید به مجموعه اضافه شود. در سیستم پیاده‌سازی شده بمنظور بهبود ساختاری از دو نوع اپراتور تبدیل استفاده شده است نوع اول اپراتورهای تبدیل Duce و شامل ۶ اپراتور می‌باشند که از سیستمی به همین نام که توسط [Muggleton 87] ارائه گردیده اقتباس شده‌اند. در سیستم Duce اپراتورهای تبدیل بمنظور فشرده سازی و تعمیم عبارتهای Propositional logic استفاده شده‌اند. در سیستم پیاده‌سازی شده این اپراتورها طوری تکمیل شده‌اند که می‌توانند بر روی قواعدی دارای پارامترهایی از قبیل مشخصه، مقدار مشخصه و ضریب قطعیت عمل کنند. در این سیستم توسط یک الگوریتم جستجوی Best-First و با استفاده از معیار بیشترین میزان کاهش تعداد نماد در مجموعه قواعد یک ترتیب بهینه برای اعمال اپراتورهای تبدیل مشخص می‌شود و سپس با اعمال این اپراتورها مجموعه قواعد اولیه به یک مجموعه تعمیم یافته‌تر تبدیل می‌شود. نوع دوم اپراتورهای تبدیل، اپراتورهای ژنتیکی هستند که در دوره‌های مشخص فعال شده و گونه‌های جدیدی از

۱- Attributes

۲- Training set

۳- Knowledge Acquisition

۴- Learning Module



شکل ۱: توسعه و بهبود پایگاه دانش با استفاده از یک مدل هایپرید یادگیری.

قواعد را که احتمالاً شایستگی بیشتری دارند جایگزین قواعدی با شایستگی کمتر می‌کنند. همچنین این اپراتورها یک فضای جستجوی بهینه را برای اعمال سایر اپراتورهای تبدیل معرفی می‌کنند. اپراتورهای ژنتیکی که در این سیستم معرفی شده‌اند مشابه اپراتورهای معمول در الگوریتم‌های ژنتیکی و سیستم‌های [Goldberg 89] Classifier می‌باشند با این تفاوت که در الگوریتم‌های ژنتیکی مرسوم و سیستم‌های Classifier این اپراتورها روی جمعیتی از کروموزمها که بصورت رشته‌های باینری با طول ثابت هستند، اعمال می‌شوند در حالیکه در سیستم پیاده‌سازی شده اپراتورهای ژنتیکی روی مجموعه قواعدی که از مؤلفه‌های نمادین تشکیل شده‌اند و در ضمن طول متغیر دارند عمل می‌کنند. شکل ۲ نحوه عملکرد چند نمونه از اپراتورهای تبدیل را نشان می‌دهد در این شکل هر اپراتور مجموعه قواعد سمت چپ را با قواعد سمت راست جایگزین می‌کند.

۲-۲- تعدیل پارامتری (Parametric Modification)

جنبه دیگر یادگیری در این مدل بهبود و تعدیل پارامترهایی است که در پایگاه دانش وجود دارند به عنوان نمونه وزن یا قوت هر قاعده پارامتری است که بایستی بر اساس نحوه عملکرد هر قاعده توسط سیستم ارزیابی و تنظیم شود این پارامتر نشان‌دهنده میزان شایستگی و یا درجه درست عمل کردن یک قاعده می‌باشد. در مدل ارائه شده برای بهبود پارامتری قواعد از روشی مشابه الگوریتم Bucket Brigade استفاده می‌شود. این الگوریتم در سیستم‌های Classifier برای بهنگام‌سازی شایستگی رشته‌های باینری استفاده شده است و در اینجا از این روش برای تنظیم قوت قواعد استفاده خواهیم کرد. ایده کلی به این صورت است که برای فعال شدن یک قاعده فقط ارضاء شدن شرایط آن کافی نمی‌باشد بلکه کلیه قواعدی که شرایط آنها ارضاء شده است بایستی در یک مزایده شرکت کنند (Auction). در این مزایده هر قاعده متناسب با میزان قوت خود مقداری را پیشنهاد می‌کند و قاعده‌ای برنده می‌شود که مقدار پیشنهاد شده توسط این قاعده از بقیه بیشتر باشد. قاعده‌ای که در مزایده برنده می‌شود فعال شده و می‌تواند در نتیجه‌گیری نهایی سیستم نقش داشته باشد. ضمناً هر قاعده که برنده می‌شود بایستی مقدار پیشنهادی خود در مزایده را بین قواعدی که در ارضاء شدن شرایط قاعده نقش داشته‌اند تقسیم نماید (Clearing house). و در نهایت نیز اگر نتیجه‌ای که توسط آخرین قاعده ارائه شده است توسط کاربر تأیید شود این قاعده امتیاز می‌گیرد و قوت آن افزایش پیدا می‌کند و به این ترتیب یک سلسله مراتب از قواعد ایجاد می‌شود که در آن قواعدی که خوب عمل کنند پاداش می‌گیرند یعنی قوت آنها افزایش پیدا می‌کند و قواعدی که بد عمل کنند قوت آنها کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از افزایش بی‌رویه قوت بعضی از قواعد، از کلیه قواعد متناسب با میزان قوت آنها مالیات دریافت می‌شود. طبق روش گفته شده میزان قوت هر قاعده را در هر مرحله می‌توانیم توسط رابطه زیر نشان دهیم:

$$S(t+1) = S(t) - C_{bid} S(t) - C_{tax} S(t) + R(t) \quad (1)$$

که در این رابطه $S(t)$ مقدار قوت قاعده در زمان t و $R(t)$ پاداشی است که بابت درست بودن نتیجه توسط قاعده دریافت می‌شود. با فرض اینکه $C_{bid} + C_{tax} = K$ رابطه اخیر به شکل زیر در می‌آید:

$$S(t+1) = (1-K) S(t) + R(t) \quad (2)$$

اگر این معادله را برای حالت $t = n$ و با فرض مقدار اولیه $S(0)$ حل کنیم به رابطه زیر می‌رسیم:

$$S(n) = (1-K)^n S(0) + \sum_{j=0}^{n-1} R(j) (1-K)^{n-j-1} \quad (3)$$

که این رابطه برای مقدار دلخواه $S(0)$ و قتیکه $0 \leq K \leq 1$ باشد نشان دهنده یک سیستم پایدار خواهد بود. از طرفی عملاً برای جلوگیری از منفی شدن مقادیر S ، بایستی K با شرط $1 \leq K$ انتخاب شود. برای بدست آوردن پاسخ سیستم در وضعیت پایدار^(۱) فرض می‌کنیم که فرآیند به طور یکنواخت و با مقدار دریافت ثابت $R(t) = R_{ss}$ ادامه پیدا کند و قوت هر قاعده نیز در حالت پایدار از تساوی $S(t+1) = S(t) = S_{ss}$ بدست آید. با این فرض اگر از طرفین رابطه (۲) تبدیل Z - بگیریم به معادله زیر می‌رسیم:

$$S_{ss} = \frac{R_{ss}}{K} \quad (4)$$

به این ترتیب وضعیت پارامترهای سیستم از جمله میزان قوت هر قاعده در حالت پایدار مشخص می‌شود. میزان قوت هر قاعده علاوه بر اینکه در انتخاب آن قاعده و در نتیجه‌گیری سیستم مؤثر است، همانطور که دیدیم به عنوان معیار شایستگی در انتخاب قواعد بمنظور اعمال اپراتورهای ژنتیکی نیز نقش دارد.

- Inert-Construction Operator :

```

IF    val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(E,EVal)
THEN  val_of(X,XVal)
IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(F,FVal)
THEN  val_of(Y,YVal)

```

```

IF    val_of(C,CVal)  AND
      val_of(E,EVal)  AND
      val_of(Z,ZVal)
THEN  val_of(X,XVal)
IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(F,FVal)  AND
      val_of(Z,ZVal)
THEN  val_of(Y,YVal)
IF    val_of(B,BVal)  AND
      val_of(D,DVal)
THEN  val_of(Z,ZVal)

```

- Truncation Operator :

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(D,DVal)
THEN  val_of(X,XVal)
IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(J,JVal)  AND
      val_of(K,KVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(C,CVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

- Crossover Operator :

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(E,EVal)
THEN  val_of(X,XVal)
IF    val_of(C,CVal)  AND
      val_of(F,FVal)  AND
      val_of(G,GVal)  AND
      val_of(H,HVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(G,GVal)  AND
      val_of(H,HVal)
THEN  val_of(X,XVal)
IF    val_of(C,CVal)  AND
      val_of(F,FVal)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(E,EVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

- Mutation Operator :

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(E,EVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

```

IF    val_of(A,AVal)  AND
      val_of(B,BVal)  AND
      val_of(C,CVal2)  AND
      val_of(D,DVal)  AND
      val_of(E,EVal)
THEN  val_of(X,XVal)

```

شکل ۲: چند نمونه از تبدیلات ساختاری تعریف شده بر روی مجموعه قواعد.

۳ - ویژگیهای مهم مدل ارائه شده

در این بخش به بعضی از ویژگیهای مهم مدل ارائه شده می‌پردازیم. بعضی از این ویژگیها ذاتاً مربوط به روشهای استفاده شده می‌باشند و بعضی در واقع از ترکیب این روشها با هم و معماری خاص سیستم ناشی شده‌اند.

الف) توسعه و بهبود پایگاه‌دانش همزمان با بهره‌برداری از آن: روش استفاده شده برای بهبود پارامتری قواعد به گونه‌ای است که تعدیل قوت قواعد در حین استنتاج سیستم و همزمان با فعال شدن قواعد انجام می‌شود همچنین اپراتورهایی که بمنظور بهبود ساختاری پایگاه دانش تعریف شده‌اند روی کل پایگاه دانش عمل نمی‌کنند بلکه فضای جستجو برای اعمال بهترین تبدیلات توسط اپراتورهای ژنتیکی محدود می‌شود به این ترتیب عملیات بهبود پایگاه دانش تأثیر زیادی بر زمان پاسخ سیستم در مقایسه با حالت عادی نخواهد داشت و تقریباً بصورت On-line انجام می‌شود و این ویژگی خصوصاً در مواردی که پایگاه دانش بزرگ باشد اهمیت زیادی خواهد داشت.

ب) یادگیری تطبیقی: چون قوت قواعد بطور مداوم بر اساس پس خوردی که از محیط دریافت می‌شود تعدیل می‌گردد و بهبود ساختاری نیز براساس همین قوت انجام می‌شود بنابر این پارامترها و ساختارهای موجود در پایگاه دانش همواره با آخرین شرایط حاکم بر محیط مطابقت دارند. عبارت دیگر سیستم همواره می‌تواند با شرایط جدید سازگاری پیدا کند و این ویژگی موجب می‌شود که سیستم برای کاربردهایی که شرایط حاکم بر مسئله دستخوش تغییرات است و یا مرز شرایط متغیر است مناسب باشد.

ج) استفاده از روشهای نمادین و شبه نمادین: مطابق تعاریفی که برای سیستم های هوشمند نمادین و شبه نمادین وجود دارد می‌توان گفت روش استفاده شده برای یادگیری سیستم، ترکیبی از روشهای نمادین و شبه نمادین می‌باشد. اپراتورهای تبدیلی که بر روی ساختارهای نمادین عمل می‌کنند در واقع بخش نمادین و بهبود پارامتری جزء شبه نمادین یادگیری را تشکیل می‌دهند. بخاطر پیچیدگی و ناهمگونی ذاتی مسائل جهان واقعی، سیستم‌های هوشمندی که بطور همزمان از تکنیکهای مختلفی برای حل مسئله استفاده می‌کنند برای حل مسائل جهان واقعی مناسب‌تر می‌باشند [Goonatilake 1995].

د) یادگیری ساختارهای عمومی ارائه دانش: در این سیستم برای ارائه دانش از ساختار قاعده یا Rule استفاده شده این ساختار علیرغم سادگی توانایی زیادی در فرموله کردن قواعد موجود در حوزه‌های مختلف دارد. ویژگی مهم مدل ارائه شده در این است که یادگیری سیستم مستقیماً بر روی این ساختار نمادین انجام می‌شود. و این ویژگی موجب می‌شود که قابلیت توضیح و امکان درک فرآیند یادگیری وجود داشته باشد و این قابلیت در بسیاری از کاربردها اهمیت فراوانی دارد در حالیکه بسیاری از سیستم‌های یادگیری (از جمله سیستم‌های Classifier) این ویژگی را دارا نمی‌باشند.

ه) امکان بهبود مجموعه دانش ناقص و یا همراه با نویز: با توجه به این قابلیت که سیستم بطور مداوم قوت قواعد را ارزیابی کرده و این پارامتر را تعدیل می‌کند اگر در پایگاه دانش قواعد نادرست وجود داشته باشند بهبود پارامتری با توجه به عملکرد این قواعد مقدار قوت آنها را کاهش می‌دهد بطوریکه به مرور زمان این قوت به مقداری می‌رسد که امکان فعال شدن این قواعد وجود ندارد و در نتیجه عملاً در نتیجه گیری سیستم تأثیری نخواهند داشت. همچنین در بسیاری از موارد اپراتورهای ژنتیکی به همراه بهبود پارامتری قادر خواهند بود به مرور زمان نقصان پایگاه دانش را جبران کنند. نتایج آزمایشی از اجرای سیستم روی مجموعه قواعدی که قواعد نادرست در آنها وجود دارد و همچنین قواعدی که بطور تصادفی ایجاد شده‌اند وجود این قابلیت را تأیید می‌کنند.

و) تعریف اپراتورهای ژنتیکی برای قواعد: همانطور که قبلاً گفته شد اپراتورهای ژنتیکی که در این سیستم معرفی شده‌اند بر روی قواعدی که طول متغیر و نحوه نمایش نمادین دارند عمل می‌کنند. در حالیکه اغلب سیستم‌هایی که از اپراتورهای ژنتیکی استفاده می‌کنند از ساختارهایی با طول ثابت و اغلب با نمایش عددی برای ارائه دانش استفاده کرده و اپراتورهای ژنتیکی نیز روی این ساختارها عمل می‌کنند.

۴ - نمونه‌هایی از اجرای سیستم و نتایج بدست آمده

در این بخش نحوه بهبود ساختاری و پارامتری قواعد را در چند اجرای نمونه از سیستم خواهیم دید. شکل ۳ نحوه عملکرد اپراتورهای تبدیلی را روی مجموعه‌ای از قواعد مربوط به یک کاربرد اقتصادی نشان می‌دهد. در این نمونه اجرا، سیستم توانسته

>> Initial Knowledge Base :

RULE : 1

IF

Industry-Scale is Large AND
Economic-Strategy is Close AND
Government-Intervention is Protection AND
Industry-Agents is Few AND
Political-Condition is National AND
Inflation is Galloping AND
Economic-Growth is Accelerated

THEN

profit is Profiteering - CF :95

RULE : 2

IF

Industry-Scale is Large AND
Economic-Strategy is Close AND
Government-Intervention is Protection AND
Industry-Agents is Few AND
Political-Condition is Liberal AND
Inflation is Repressed AND
Economic-Growth is Recovery

THEN

profit is Normal - CF :90

RULE : 3

IF

Industry-Scale is Small AND
Economic-Strategy is Open AND
Government-Intervention is Anti-Trust AND
Industry-Agents is Many AND
Political-Condition is Liberal AND
Inflation is Hyper AND
Population-Growth is Explosion AND
Employment-Degree is Unemployment

THEN

profit is Loss - CF :95

RULE : 4

IF

Economic-Strategy is Close AND
Political-Condition is National AND
Inflation is Hyper AND
Population-Growth is Explosion AND
Employment-Degree is Unemployment

THEN

profit is Low - CF :70

RULE : 5

IF

Industry-Scale is Small AND
Economic-Strategy is Open AND
Government-Intervention is Anti-Trust AND
Industry-Agents is Many AND
Political-Condition is Social

THEN

profit is Low - CF :90

RULE : 6

IF

Economic-Strategy is Open AND
Political-Condition is Social AND
Employment-Degree is Normal AND
Population-Growth is Normal

THEN

profit is Normal - CF :70

RULE : 7

IF

Economic-Strategy is Open AND
Political-Condition is Social AND
Inflation is Hyper AND
Population-Growth is Explosion AND
Employment-Degree is Unemployment

THEN

profit is Loss - CF :70

RULE : 8

IF

Industry-Scale is Large AND
Economic-Strategy is Close AND
Government-Intervention is Protection AND
Industry-Agents is Few AND
Political-Condition is National AND
Employment-Degree is Normal AND
Population-Growth is Normal

THEN

profit is Profiteering - CF :95

RULE : 9

IF

Industry-Scale is Large AND
Economic-Strategy is Close AND
Government-Intervention is Protection AND
Industry-Agents is Few AND
Political-Condition is National AND
Inflation is Repressed AND
Economic-Growth is Recovery

THEN

profit is Profiteering - CF :95

>> Search For Best Transformations :

TRUNCATION (REDUCTION :18)

Is

profit(Profiteering) <-

Industry-Scale(Large),Economic-Strategy(Close),
Government-Intervention(Protection),
Industry-Agents(Few),Political-Condition(National)
a valid rule?(y/n)

TRUNCATION (REDUCTION :10)

Is

profit(Loss) <-

Economic-Strategy(Open),Inflation(Hyper),
Population-Growth(Explosion),
Employment-Degree(Unemployment)
a valid rule?(y/n)

INTRACONSTRUCTION (REDUCTION :8)

? <-Inflation(Galloping),Economic-Growth(Accelerated)
? <-Employment-Degree(Normal),
Population-Growth(Normal)

What shall I call <?> ? (<Enter> to Reject) :

expectations

Value :good

Enter Certainty Factor For New Rule :

profit(Profiteering) <-

Industry-Scale(Large),Economic-Strategy(Close),
Government-Intervention(Protection),
Industry-Agents(Few),Political-Condition(National),
expectations(good)

CF:[100] 95

Enter Certainty Factor For New Rule :

expectations(good) <-

Inflation(Galloping),Economic-Growth(Accelerated)
CF:[100] 80

Enter Certainty Factor For New Rule :

expectations(good) <-

Employment-Degree(Normal),Population-Growth(Normal)
CF:[100] 80

Is

expectations(good) <-

Inflation(Repressed),Economic-Growth(Recovery)
a valid rule?(y/n)

CF:[100] 80

INTERCONSTRUCTION (REDUCTION :2)

? <- Inflation(Hyper),Population-Growth(Explosion),
Employment-Degree(Unemployment)

What shall I call <?> ? (<Enter> to Reject) :unsecurity

Value :high

Enter Certainty Factor For New Rule :

profit(Loss) <-

Industry-Scale(Small),Economic-Strategy(Open),
Government-Intervention(Anti-Trust),Industry-Agents(Many),
Political-Condition(Liberal),unsecurity(high)
CF:[100] 95

Enter Certainty Factor For New Rule :

profit(Low) <-

Economic-Strategy(Close),Political-Condition(National),
unsecurity(high)

CF:[100] 70

Enter Certainty Factor For New Rule :

unsecurity(high) <-

Inflation(Hyper),Population-Growth(Explosion),
Employment-Degree(Unemployment)

CF:[100] 95

Enter Certainty Factor For New Rule :

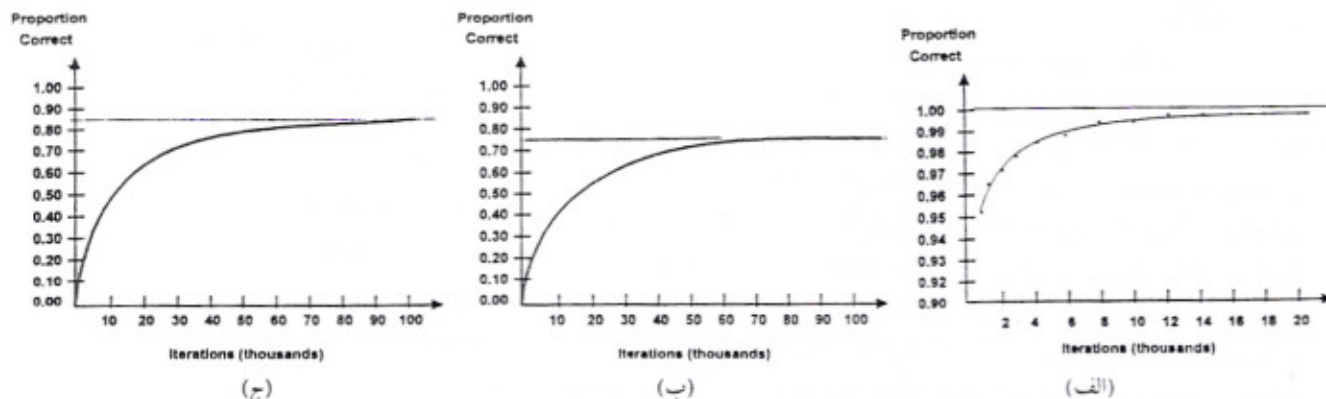
profit(Loss) <-

شکل ۳: نحوه عملکرد تبدیلات ساختاری بر روی قواعد مربوط به یک کاربرد اقتصادی.

Economic-Strategy(Open),Political-Condition(Social),
 unsecurity(high)
 CF:[100] 770
 TRUNCATION (REDUCTION :8)
 Is
 profit(Loss) <-
 Economic-Strategy(Open),unsecurity(high)
 a valid rule?(y/n)
 INTER-CONSTRUCTION (REDUCTION :1)
 ? <- Industry-Scale(Large),Economic-Strategy(Close),
 Government-Intervention(Protection),Industry-Agents(Few)
 What shall I call <?> ? (<Enter> to Reject):
 competition
 Value :monopolistic
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 profit(Normal) <-
 Political-Condition(Liberal),Inflation(Repressed),
 Economic-Growth(Recovery),competition(monopolistic)
 CF:[100] 290
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 profit(Profiteering) <-
 Political-Condition(National),expectations(good),
 competition(monopolistic)
 CF:[100] 295
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 competition(monopolistic) <-
 Industry-Scale(Large),Economic-Strategy(Close),
 Government-Intervention(Protection),Industry-Agents(Few)
 CF:[100] 2100
 INTER-CONSTRUCTION (REDUCTION :1)
 ? <- Industry-Scale(Small),Economic-Strategy(Open),
 Government-Intervention(Anti-Trust),Industry-Agents(Many)
 What shall I call <?> ? (<Enter> to Reject):
 competition
 Value :perfect
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 profit(Low) <-
 Political-Condition(Social),competition(perfect)
 CF:[100] 290
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 profit(Loss) <-
 Political-Condition(Liberal),unsecurity(high),
 competition(perfect)
 CF:[100] 295
 Enter Certainty Factor For New Rule :
 competition(perfect) <-
 Industry-Scale(Small),Economic-Strategy(Open),
 Government-Intervention(Anti-Trust),Industry-Agents(Many)
 CF:[100] 2100
 ABSORPTION (REDUCTION :1)
 Is
 profit(Normal) <-
 Economic-Strategy(Open),Political-Condition(Social),
 expectations(good)
 a valid rule?(y/n)
 CF:[100] 770
 ABSORPTION (REDUCTION :1)
 Is
 profit(Normal) <-
 Political-Condition(Liberal),competition(monopolistic),
 expectations(good)
 a valid rule?(y/n)
 CF:[100] 290
 >> Current Knowledge Base :
 RULE : 1
 IF
 Political-Condition is National AND
 expectations is good AND
 competition is monopolistic
 THEN
 profit is Profiteerint - CF :95
 RULE : 2
 IF
 Political-Condition is Liberal AND
 competition is monopolistic AND
 expectations is good
 THEN
 profit is Normal - CF :90

RULE : 3
 IF
 Political-Condition is Liberal AND
 unsecurity is high AND
 competition is perfect
 THEN
 profit is Loss - CF :95
 RULE : 4
 IF
 Economic-Strategy is Close AND
 Political-Condition is National AND
 unsecurity is high
 THEN
 profit is Low - CF :70
 RULE : 5
 IF
 Political-Condition is Social AND
 competition is perfect
 THEN
 profit is Low - CF :90
 RULE : 6
 IF
 Economic-Strategy is Open AND
 Political-Condition is Social AND
 expectations is good
 THEN
 profit is Normal - CF :70
 RULE : 7
 IF
 Economic-Strategy is Open AND
 Political-Condition is Social AND
 unsecurity is high
 THEN
 profit is Loss - CF :70
 RULE : 8
 IF
 Inflation is Galloping AND
 Economic-Growth is Accelerated
 THEN
 expectations is good - CF :80
 RULE : 9
 IF
 Inflation is Repressed AND
 Economic-Growth is Recovery
 THEN
 expectations is good - CF :80
 RULE : 10
 IF
 Employment-Degree is Normal AND
 Population-Growth is Normal
 THEN
 expectations is good - CF :80
 RULE : 11
 IF
 Inflation is Hyper AND
 Population-Growth is Explosion AND
 Employment-Degree is Unemployment
 THEN
 unsecurity is high - CF :95
 RULE : 12
 IF
 Industry-Scale is Large AND
 Economic-Strategy is Close AND
 Government-Intervention is Protection AND
 Industry-Agents is Few
 THEN
 competition is monopolistic - CF :100
 RULE : 13
 IF
 Industry-Scale is Small AND
 Economic-Strategy is Open AND
 Government-Intervention is Anti-Trust AND
 Industry-Agents is Many
 THEN
 competition is perfect - CF :100

شكل ٣ : (ادامه)



شکل ۴: کارایی الگوریتم یادگیری (الف) تعدیل پارامتری مجموعه قواعد کامل همراه با نویز (ب) تعدیل پارامتری مجموعه قواعد تصادفی (ج) تعدیل ساختاری و پارامتری مجموعه قواعد تصادفی

چند مفهوم اقتصادی را در مجموعه قواعد تشخیص دهد و پس از گرفتن نام این مفاهیم، آنها را بعنوان قواعد جدید معرفی نماید. همانطور که در نمونه اجرای ارائه شده مشاهده می کنید مجموعه قواعدی که پس از اعمال اپراتورها بدست آمده مجموعه ای است که اولاً بخاطر معرفی مفاهیم جدید، قواعد آن وضوح و خوانایی بیشتری دارند و ثانیاً تعداد نمادها در کل مجموعه قواعد کمتر شده و مجموعه فشرده تری بدست آمده که این موجب بالا رفتن سرعت استنتاج سیستم خواهد شد.

یکی از ویژگیهای مهم سیستم پیاده سازی شده این است که می تواند با قواعد همراه با نویز و یا قواعد ناکامل نیز به خوبی عمل کند. شکل ۴- (الف) کارایی الگوریتم بهبود پارامتری را در مورد قواعد کاملی که همراه با نویز هستند نشان می دهد. این منحنی مربوط به اجرای آزمایشی الگوریتم یادگیری بر روی قواعد تشخیص Parity در یک الگوی ۸ بیتی می باشد که در این مجموعه علاوه بر حالت های ممکن برای تشخیص Parity تعدادی قاعده نیز به عنوان نویز به مجموعه اضافه شده اند. این مسئله توسط بعضی از محققین برای بررسی الگوریتم های یادگیری استفاده شده است از جمله [Minsky 1969] و [Rumelhart 1986] این مسئله را برای آزمون سیستم های پرسپترون و [Michalski 1980] و [Muggleton 1986] این مسئله را در سیستم های یادگیری قواعد بررسی کرده اند. همانطور که منحنی نشان می دهد به مرور زمان نسبت پاسخ های درست سیستم افزایش پیدا می کند بطوریکه به مقدار ۱۰۰٪ نزدیک می شود و این نشان دهنده این است که قواعدی که به عنوان نویز به مجموعه اضافه شده اند به مرور زمان به خاطر امتیازات منفی که کسب می کنند قوت لازم جهت شرکت در مزایده اطلاعاتی و در نتیجه نقش خود را در نتیجه گیری سیستم از دست می دهند و بالعکس قواعدی که درست عمل می کنند در دفعات بعد شانس بیشتری برای انتخاب شدن دارند.

علاوه بر قابلیت سیستم برای بی تأثیر کردن قواعدی که نتایج نادرست داشته و بصورت نویز عمل می کنند، الگوریتم یادگیری می تواند با استفاده از اپراتورهای تبدیل ساختاری تا اندازه ای ناکامل بودن مجموعه قواعد را جبران کند. در منحنی شکل ۴- (ب) کارایی الگوریتم بر روی مجموعه ای از قواعد که بطور تصادفی ایجاد شده اند مشاهده می شود در این آزمایش نیز مانند آزمایش قبلی، یادگیری فقط بر اساس بهبود پارامتری قواعد صورت گرفته است. همانطور که منحنی نشان می دهد نسبت پاسخ های درست سیستم به مرور افزایش می یابد و سپس در یک سطح ثابت باقی می ماند علت این است که بهبود پارامتری توانسته تأثیر قواعد نادرست را در نتیجه گیری سیستم از بین ببرد و در مقابل تأثیر قواعد درست را افزایش دهد. ولی به علت اینکه همه حالاتها توسط قواعد شناسایی نمی شود کارایی سیستم در یک سطح باقی می ماند. منحنی شکل ۴- (ج) مربوط به آزمایش دیگری است که بر روی همان مجموعه از قواعد انجام شده است با این تفاوت که در این آزمایش علاوه بر بهبود پارامتری، اپراتورهای تبدیل نیز فعال می باشند. همانطور که منحنی مربوطه نشان می دهد برخلاف حالت قبل کارایی سیستم در یک سطح باقی نمی ماند و علت این

است که اپراتورهای تبدیل توانسته‌اند گونه‌های جدیدی از قواعد را معرفی کنند که بعضی از این قواعد جدید، قواعد درستی هستند که قبلاً وجود نداشته‌اند. بنابراین نسبت پاسخهای درست سیستم در مقایسه با حالت قبل بیشتر خواهد بود و ممکن است به مرور زمان کلیه قواعد درستی که اکنون وجود ندارند توسط اپراتورهای تبدیل ایجاد شده و به مجموعه اضافه گردد و به این ترتیب با گذشت زمان نسبت پاسخهای درست به سمت ۱۰۰٪ نزدیک شود.

۵ - نتیجه‌گیری

مدلی که بمنظور بهبود همزمان پایگاه دانش در این مقاله معرفی گردید نمونه‌ای از یک سیستم یادگیری هابیرید است که می‌تواند پارامترها و ساختارهای موجود در پایگاه دانش را همزمان با عملیات سیستم بهبود بخشیده و کارایی سیستم را افزایش دهد. در سیستم پیاده سازی شده تعدیل پارامتری هر قاعده همزمان با فعال شدن آن قاعده صورت می‌گیرد و تعدیل ساختاری قواعد نیز بصورت دوره‌ای و بر روی یک فضای جستجوی بهینه انجام می‌شود بنابراین فرآیند یادگیری در این سیستم در مقایسه با اغلب روشهای یادگیری ماشینی که معمولاً بر روی کل دانش موجود عمل می‌کنند مانند AQn و Duce به زمان بسیار کمتری احتیاج داشته و بمنظور استفاده همزمان با عملیات سیستم مناسب می‌باشد. تبدیلات ساختاری در این سیستم بر روی ساختارهای نمادین موجود در پایگاه دانش انجام می‌شود و اپراتورهای ژنتیکی نیز بر خلاف اغلب سیستم‌های مشابه، مستقیماً بر روی ساختارهایی دارای مؤلفه‌های نمادین و با طول متغیر اعمال می‌شوند بنابراین یادگیری در این سیستم یک فرآیند قابل توضیح می‌باشد و این قابلیت در بسیاری از کاربردها اهمیت فراوان دارد. از سایر ویژگیهای سیستم ارائه شده می‌توان به قابلیت تطبیق سیستم با شرایط جدید و همچنین امکان کار کردن با مجموعه قواعد ناکامل و یا همراه با نویز اشاره کرد آزمایشات انجام شده بروی مجموعه قواعد نمونه وجود این قابلیتها در سیستم را تأیید می‌کنند.

یکی از مواردی که بعنوان توسعه سیستم می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد امکان محاسبه ضریب قطعیت قواعد جدیدی که توسط تبدیلات ایجاد می‌شوند با استفاده از ضریب قطعیت قواعد شرکت کننده در تبدیل می‌باشد. گرچه در سیستم پیاده‌سازی شده ضریب قطعیت قواعد جدید از کاربر گرفته می‌شود ولی در بعضی از موارد سیستم می‌تواند با توجه به قواعدی که در تبدیل نقش داشته‌اند این ضریب قطعیت را محاسبه کند به عنوان مثال در تبدیل truncation که یک قاعده جایگزین چند قاعده دیگر با همان نتیجه می‌شود می‌توانیم بگوئیم که ضریب قطعیت قاعده جدید ماکزیمم ضریب قطعیت قواعدی است که این قاعده جایگزین آنها می‌شود^(۱). و به همین ترتیب ممکن است بتوان برای سایر اپراتورها نیز روشی را برای محاسبه ضریب قطعیت قاعده جدید بدست آورد.

منابع:

1. Forsyth R. (1986) "Machine Learning: Applications in Expert Systems and Information Retrieval", Ellis Horwood Ltd.
2. Goldberg D. E. (1989) "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley.
3. Goonatilake S., Khebbal S. (1995) "Intelligent Hybrid Systems", John Wiley & Sons Ltd.
4. Michalski R. S., Chilausky R. L. (1980) "Learning by Being Told and Learning From Examples", International Journal of Policy Analysis and Information Systems. 4(2), pp 126-161.
5. Michalski R. S., Stepp R. E. (1983) "Learning from observation : Conceptual Clustering", In Michalski/Carbonel/Mitchell (eds) "Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach", Springer-Verlag.
6. Minsky M., Papert S. (1969) "Perceptrons", Cambridge MA, MIT Press.
7. Muggleton S. (1986) "Inductive Acquisition of Expert Knowledge", Ph.D Thesis, Edinburgh University.
8. Muggleton S. (1987) "Duce, an Oracle Based Approach to Constructive Induction", In IJCAI-87 Morgan Kaufman, pp 287-292.
9. Muggleton S. (1991) "Inductive Logic Programming", New Generation Computing No. 8, OHMSHA LTD and Springer-Verlag, pp 295-318.
10. Quinlan R. J. (1983) "Learning Efficient Classification Procedures", In Michalski/Carbonel/Mitchell (eds) "Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach", Springer-Verlag.
11. Rumelhart D. E., McClelland J. L. (1986) "Learning Internal Representations by Error Propagation", Parallel Distributed Processing. Explorations in the Micro-Structure of Cognition, Vol.1, Cambridge MA, MIT Press.