علوم و مهندسی کامپیوتر
نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران
مجلد ۱، شماره ۱ (الف)، بهار ۱۳۸۲
صفحات ۴۷- ۵۲

نقدی بر مقاله

Permissive Planning: Extending Classical Planning to Uncertain Task Domains

(برنامه‌ریزی پذیرشی: تعمیم برنامه‌ریزی کلاسیک به دامنه‌های غیرقطعی)

کامبیز بدیع

گروه تخصصی جامعه اطلاعاتی، مرکز تحقیقات مخابرات ایران

مقاله Permissive Planning: Extending Classical Planning to Uncertain Task Domains توسط آقایان Gerald F. Dejong و Scott W. Bennett در شماره ۸۹، در مجله Artificial Intelligence در سال ۱۹۹۷(217~173) Artificial Intelligence 89 (1997)) به چاپ رسیده است. این مقاله جالب در این شماره مورد بررسی و نقد آقای دکتر کامبیز بدیع، مسئول گروه تخصصی جامعه اطلاعاتی مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است.

دیونگ در این مقاله، به دنبال یک پل ارتباطی میان برنامه‌ریزی کلاسیک[1] و دستیابی عملی به آن اهداف از برنامه‌ریزی است که به جهان واقعی[2] مربوط می‌شود. او برنامه‌ریزی کلاسیک را مرتبط با رفتار ریزجهان‌ها[3] می‌داند که ایجاد آنها بدون هیچ عیب و نقصی امکان‌پذیر می‌باشد. به اعتقاد او، رفتار این ریزجهان‌ها، تنها موقعی شاخص عملکرد جهان واقعی است که بازنمودهای ذهنی[4] برنامه‌ریز به طور تمام عیار جزئیات جهان واقعی را در خود بپوشاند، اما از آنجا که در برهه برنامه‌ریزی به تمامی این جزئیات نمی‌توان واقف بود، غالباً بازنمودهای ذهنی برنامه‌ریز تنها تقریبی از تغییرات جهان واقعی می‌شود. او معتقد است که چنین معایب و نقیصه‌هایی عملاً موجب خواهد شد تا یک برنامه در جهان واقعی عملاً اعتبار خود را از دست بدهد. یک علت عمده برای بروز این اشکال، همانگونه که دیونگ بیان می‌دارد، به این واقعیت باز می‌گردد که عملگرهای برنامه‌ریزی[5] در دیدگاه کلاسیک آن فرم کمی داشته و به خاطر نامحدود بودن مسائل ممکنه، تنها می‌توانند جزئی محدود از تغییرات جهان واقعی را در بر گیرند. ضمن آنکه بازنمودهایی که از حالت اولیه یک مسأله ارائه می‌شود، صد درصد قطعی نیستند.

بنا به دیدگاه دیونگ، برنامه‌ریزی پذیرشی[6] یک رویکرد مبتنی بر یادگیری به برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت، تلقی می‌شود. برای آنکه درک بهتری از این نوع برنامه‌ریزی داشته باشیم، مثال ساده‌ای از برنامه‌ریزی، که دیونگ در متن مقاله به آن اشاره می‌کند، یعنی تهیه صبحانه در هنگام صبح را، در نظر می‌گیریم. در این برنامه‌ریزی ساده، حالت اولیه[7] در آشپزخانه مشتمل است بر بسیاری از مواد استاندارد شده آشپزی، از قبیل شیر، آرد، تخم‌مرغ، کره، برشتوک‌های سرد و گرم، انواع شهد و میوه‌های تازه و خشکبار. هدف از برنامه‌ریزی این است که گرسنگی صبحگاهی را کاهش دهیم. عملگرهای برنامه‌ریزی در اینجا مشتمل می‌شوند بر ریختن، اندازه گرفتن (سنجیدن)، مخلوط کردن، حرارت دادن و غیره.

برنامه‌ریز، یعنی شخصی که می‌خواهد صبحانه درست کند، راه‌حل‌های بسیاری را می‌تواند تولید کند. ناگفته نماند که انواع و اقسام صبحانه که با مواد فوق قابل تهیه باشند وجود دارد. دیونگ مجموعه تمامی راه‌حل‌هایی را که در اصل قابل تولید هستند، مجموعه شایستگی[8] اطلاق می‌کند، ضمن آنکه به این مورد اشاره می‌دارد که برنامه‌ریز برای رسیدن به راه حل مورد نظرش، تمامی این راه‌حل‌ها را تولید نمی‌کند، بلکه در نهایت تنها به یک راه حل کفایت می‌کند. دیونگ ضمن آنکه این عنصر از مجموعه شایستگی برنامه‌ریز را مورد عملکرد برنامه‌ریز[9] برای مسأله مورد نظر می‌نامد، ارجحیتی که یک برنامه‌ریز در مورد عملکرد در خود قائل می‌شود، به نوعی تورش اولیه[10] او می‌داند ولذا آنرا تورش برنامه‌ریز اطلاق می‌کند. بنا به عقیده دیونگ، تورش یک وجه گریز ناپذیر برنامه‌ریزی است و تنظیم آن هسته اصلی برنامه‌ریزی پذیرشی است. دیونگ برای آنکه درک بهتری را از مقوله تورش در ارتباط با برنامه‌ریزی ایجاد کند، مسأله تهیه نیمرو را به عنوان مورد عملکرد برنامه‌ریز برای مسأله صبحانه مطرح می‌کند. او چنین بیان می‌دارد که یک برنامه تهیه نیمرو در یک دید کاملاً منطقی ممکنست منجر به غذایی شود که، علیرغم انتظارات اولیه برنامه‌ریز، بدبو و بدمزه باشد. مسأله در اینجاست که تعداد محدودی از بازنمودهای داخلی سیستم، راهبرد کافی برای رسیدن به هدف ایده‌آل را در اختیار سیستم نمی‌گذارند. به عبارتی، ممکنست که برخی از بازنمودهای حالت اولیه مسأله اشتباه باشند. به طور مثال، ممکنست تخم‌مرغ‌ها گرم‌تر از آن موردی که نمایانده شده‌اند باشند، یا کره مصرفی بدبو باشد و یا اساساً عملگرهای به کار

آمده در برنامه‌ریزی تهیه نیمرو از دقت کافی برخوردار نباشند و نیز به احتمال قوی تنها نمی‌توان یک بازنمود تک را سرزنش کرد. معمولاً نارسایی‌های چندگانه که هر کدام تأثیر جزئی دارد، مستقلاً منجر به ایجاد یک عیب و ایراد می‌شوند. رسالت برنامه‌ریزی پذیرش این است که در رویارویی با یک عیب غیر قابل قبول، تورش برنامه‌ریز را مجدداً تنظیم کند. این امر سبب می‌شود که راه‌حل‌ها به موارد عملکرد مختلف تغییر موضع دهند.

همواره گزینه‌های متعددی برای برنامه‌ریزی در چارچوب یک ریزجهان پیش بینی شده است، و مسائل اندکی هستند که تنها یک راه حل تک داشته باشند. به این ترتیب در مثال تهیه صبحانه، همانگونه که دیونگ اشاره می‌کند، سزاوار نیست که گزینه‌های دیگر صبحانه را فراموش کنیم. چرا حفظ یک ریزجهان ممکنست مطلوب نظر باشد؟ بازنمودهایی که یک سیستم از عملکردهای خود دارد، از طریق انسان خبره تأمین می‌شود. به نظر می‌رسد که انسان خبره حداکثر تلاش خود را در مفهوم‌سازی هر چه بهتر از تغییرات محیطی مبذول دارد، لکن به خاطر نامحدود بودن مسائل، عملگرهایی که یک انسان خبره در جهت برنامه‌ریزی پیشنهاد می‌کند از قطعیت و انعطاف کافی برخوردار نیستند، دقیقاً به این خاطر که ذهن انسان خبره در برخورد با محیط و حل مسائل محیطی دچار نوعی تورش است. پس با اصلاح تدریجی عملگرهایی که خبره پیشنهاد می‌کند، الزاماً نمی‌توان امید به بهتر شدن سازوکار برنامه‌ریزی برای یک سری مسائل داشت.

تورشی که از آن یاد شد، بنا به دلایل عدیده‌ای شکل می‌گیرد که منجر به افت کارآیی برنامه ریز در مسائلی می‌شود که در حوزه عملکرد آن پیش بینی نشده است. به این ترتیب، در مواردی که این نتیجه به دست آمد که شکست در برنامه‌ریزی به خاطر این تورش است، ضروری است که این تورش به یک تورش جدید تغییر داده شود. لپ کلام برنامه‌ریزی پذیرشی، در دیدگاه دیونگ، اینست که تورش من حیث مجموع منعکس کننده خصوصیات برنامه‌ریزی است. تغییر تورش به این گونه، ممکنست عنصر عملکردی را که برای مسائل بسیار تولید شده است یکجا جا به جا کند، با این معنا که به قیمت از دست دادن راه‌حل بهینه برای مسائلی که پیشتر به نحو مطلوب حل می‌شدند، مسائلی که جدیداً درگیر آن شده‌ایم حل شوند.

دیونگ در ادامه بحث، برای روشن ساختن هر چه بیشتر اهمیت برنامه‌ریزی پذیرشی اشاره‌ای به رویکردهای دیگر برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت و رابطه آنها با برنامه‌ریزی پذیرشی می‌نماید. در این باره، او سه مقوله کلی را در نظر می‌گیرد. به عنوان مقوله اول، او اشاره دارد به سیستم‌های استدلالگری که صریحاً با گونه‌هایی از عدم قطعیت و نحوه انتشار آن مواجه هستند. این رویکرد کلی شامل روش‌هایی از قبیل استدلال بیزیسن، برنامه‌ریزی با توپ‌های خطا، منطق شولا (فازی) و رویکردهای مبتنی بر نظریه تصمیم‌گیری می‌شود. بنا به دیونگ، سیستم‌هایی که در این دامنه عام قرار می‌گیرند، از بازنمودهایی از جهان واقعی که پیچیده‌تر از برنامه‌ریزی کلاسیک قراردادی هستند، بهره می‌گیرند. این بازنمودها به نوعی، نارسایی‌های ممکن در طول برنامه‌ریزی را شامل می‌شوند.

در اینجا، برنامه‌ریز از این متغیرها جهت تصمیم پیرامون بهترین رفتار در قبال جهان بیرونی بهره می‌گیرد. هر بازنمود را، می‌توان به عنوان موجودیتی که یک ترکیب فصلی مبسوط از واقعیات را مشخص می‌سازد، دید. به این ترتیب، امکان مخدوش شدن بازنمود این چنینی در جهان واقعی پایین است. لکن باید به این نکته مهم توجه داشت که هزینه استدلال بر مبنای چنین بازنمودهایی می‌تواند بالا باشد.

به عنوان مقوله دوم، دیونگ از یادگیری ماشینی جهت اصلاح بازنمودهای نامتناسب نام می‌برد. همانگونه که در برنامه‌ریزی کلاسیک مطرح است، کنش[11] بیشتری را از راه مشاهدات به دست می‌آورد. نظریه دامنه نیز به طرز مناسبی، جهت همراستا شدن با رفتار جهان مشاهده شده، دستخوش تغییر می‌شود. این امر را می‌توان در قالب یک مسأله استقراء دید. به این گونه که چنانچه فضای فرضیه‌ای وجود داشته باشد، با مجموعه‌ای از صور خوش دیس برای نظریه دامنه اولیه و مثال‌هایی از رفتارهای مشاهده شده از جهان خارج، هدف نهائی از استقراء این خواهد بود که نهایتاً فرضیه‌ای به دست آید که به بهترین نحو ممکن با مثال‌های موجود هماهنگ باشد. در این ارتباط، نظریه کلی اصلاح و اکتشاف[12] و یا اندکی محتاطانه‌تر گفته باشیم، یادگیری و اصلاح عملگرها شایان توجه است. پژوهش‌هایی که با بازنگری باور[13] و به روز کردن نظریات کنش[14] مربوط می‌شوند، نیز با این امر مرتبطند.

دیونگ، مقوله سوم را به واکنشی بودن[15] اختصاص می‌دهد. در جایی که شیوه‌های قراردادی اجرای برنامه، اعمال کورکورانه‌ای از رشته عملگرهایی که توسط برنامه‌ریز مشخص می‌شود، دارد، یک سیستم واکنشی[16] می‌کوشد که اجرای برنامه را با درجاتی از درپایش جهان و تصمیم‌گیری بیامیزد. به این معنا که، زمانیکه این نتیجه به دست آمد که جهان خارج در زمان برنامه‌ریزی مطابق پیش‌بینی عمل نمی‌کند، تغییراتی در نحوه زمان‌بندی برنامه‌ریزی به عمل می‌آورد. در این جا یک برنامه شباهت اندکی به یک برنامه کلاسیک دارد. معمولاً یک برنامه تشکیل شده است از تعداد زیادی تصمیمات از نوع "چه-اگر[17] " که کنش‌ها را برای حالاتی از جهان که قابل رویارویی هستند، مشخص می‌کند. شاید بهتر باشد که در این نگرش به جای واژه برنامه، از واژه خط‌مشی[18] استفاده شود. تحقق اهداف در این نگرش با پویایی[19] جهان واقعی شکل می‌گیرد. هم‌چنین، از روش‌های یادگیری ماشینی، هر چند نه به طور صد درصد، می‌توان در جهت خود کارسازی ساخت برنامه/خط‌مشی استفاده کرد.

هر یک از سه رویکردی که در فوق به آن اشاره شد، طبقات متفاوتی از راه‌حل را برای مسأله تهیه صبحانه در اختیار می‌گذارد. در رویکرد اول، بازنمودها بهسازی می‌شوند تا بتوانند اطلاعات عدم قطعیت را رمز کنند. در این ارتباط راه‌حل‌هایی تولید می‌شود که حساسیت کمتری نسبت به عدم قطعیت دارند. در مثال تهیه نیمرو، این رویکرد موجب آن می‌شود تا به طور مثال نیمرویی با خوشمزگی کم درست شود. در رویکرد دوم، روش‌های یادگیری ماشینی، فرصتی را برای اصلاح آگاهی‌های غلط از جهان خارج فراهم می‌آورد. مثلاً در تهیه نیمرو، ممکنست این نتیجه حاصل شود که تخم‌مرغ را تنها زمانی باید شکست که روغن داخل تابه به اندازه کافی گرم شده باشد و یا اینکه میزان کره مصرفی نمی‌بایست از یک حد نصاب خاص تجاوز کند و یا اینکه این کره می‌بایست ویژگی‌های خاصی داشته باشد. در هر صورت، قابلیت نگاشت داخلی سیستم برنامه‌ریز با واقعیت بیرونی همراستا می‌شود. به این ترتیب از طریق این اصلاح قادر است تا نیمروی خوشمزه‌ای درست کند. در رویکرد سوم، حالت واکنشی بودن جهان بیرون پس از اجرای هر عملگر درپایش می‌شود تا کنش بعدی در برنامه به گونه‌ای انتخاب گردد که دنیای مشاهده شده در عمل به حالت هدف نزدیکتر گردد. به طور مثال، چنانچه پس از ریختن کره به داخل تابه داغ متوجه شدیم که کره به راحتی ذوب نمی‌شود، تلاش می‌کنیم تا مثلاً با فشاری که به کمک یک قاشق برکره وارد می‌کنیم، آن را به حالت ذوب نزدیکتر کنیم. نکته مهم اینستکه سیستم، به جای آنکه قصد یادگیری از اشتباهاتش را داشته باشد، بیشتر سعی می‌ورزد تا با واکنش در قبال محیط، با اعمال یک سری اندیشه‌های جدید به جبران مافات بپردازد. نکته‌ای که دیونگ بر آن تأکید می‌ورزد، اینستکه برنامه‌ریزی پذیرشی، از دیدگاه نسبتاً متفاوتی با قضیه برخورد می‌کند. بر خلاف رویکرد اولی، تمامی بازنمودها از اشیاء و کنش‌های جهان خارج به صورت ساده، قطعی و چندی بوده و هیچ گونه اطلاعاتی پیرامون عدم قطعیت مورد انتظار را در بر نمی‌گیرد. بر خلاف رویکرد دوم، آگاهی دامنه[20] یعنی باورهای بازنمایی شده سیستم از جهان خارج، هرگز

دستخوش تغییر نمی‌شود و بالاخره، تفاوت آن با رویکرد سوم در اینستکه از چارچوب برنامه کلاسیک خارج نمی‌شود. شایان توجه است که نگاشت[۲۱] نقش مهمی را در برنامه‌ریزی پذیرشی ایفاء می‌کند و تصمیم‌های کنشی در زمان اجراء جایگاهی ندارند.

دیونگ البته اذعان دارد که برنامه‌ریزی پذیرشی، با توصیفی که او از آن ارائه می‌کند، حرف آخر را در برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت نمی‌زند. برخورد نهایی با عدم قطعیت به احتمال قوی جنبه‌های مختلف تمامی این رویکردها را در بر می‌گیرد. اما برنامه‌ریزی پذیرشی تنها یک جهت کشف شده بسیار کوچک است. رویکرد پذیرشی نسبت به مقوله برنامه‌ریزی را می‌توان به اختصار به این شرح بیان کرد: برنامه‌ریز به منزله عاملی دیده می‌شود که دارنده یک سری پارامتر با نفوذ در جستجوی راه‌حل باشد. هر ترکیبی از مقادیر این پارامترها نوعی تورش از جانب برنامه‌ریز را سبب می‌شود. مجموعه تمامی تورش‌ها تشکیل دهنده فضای تورش برنامه‌ریز[۲۲] است. یادگیری ماشینی می‌تواند در جهتی به کار گرفته شود که عنصر تورشی را که منجر به عملکرد قابل قبول برای برنامه‌ریز (به ازای مسائل در حیطه توان او می‌شود)، جستجو کند. واژه برنامه‌ریزی پذیرشی از این جهت انتخاب شده است که، بدون داشتن آگاهی دامنه کامل، خود را به برازش محیط در می‌آورد.

در ضمیمه این نقد، مثالی ارائه شده است دال بر اینکه چگونه می‌توان به کمک برنامه‌ریزی پذیرشی، اشکالات یک نماواره[۲۳] برنامه‌ریزی را تشخیص داد. این مثال در ارتباط با بازوی رباتی است که قرار است با عبور از یک مانع به گرفتن یک هدف از پیش تعریف شده بپردازد. در پایان این مثال، متوجه خواهید شد که چگونه با تشخیص عیوب و اشکالات نهفته در نماواره، که منجر به شکل‌گیری نوعی تورش نامطلوب برای مسأله فعلی می‌شود، می‌توان پارامترهای دخیل در شکل‌گیری نماواره را به گونه‌ای تصحیح کرد که برنامه لازم برای بازوی ربات را، حداقل به طور محافظه کارانه‌ای هم که شده، برای مسائل آتی تصحیح نماید.

در ارتباط با برنامه‌ریزی پذیرشی و قابلیت‌های آن، می‌توان به موارد متعددی به شرح زیر اشاره داشت:

الف- از دیدگاه یادگیری ماشینی

مقدمتاً بد نیست که گذری اجمالی بر برخی ملاحظات در این مبحث داشته باشیم. آنچه از دیدگاه یادگیری در خور توجه است، سازماندهی مجدد پارامترها و مقادیر یا مفاهیم متغیرهای دخیل در یک مسأله به گونه‌ایست که در پرتو آن بتوان اهداف مطروحه در مسأله مربوطه را به نحو مطلوب (یا در حد قابل قبولی) محقق ساخت، و یا آنکه با جلوگیری از عیوب و نارسایی‌های رویت شده در گذشته، کارآیی شیوه ارائه شده را برای حل مسائل آتی افزایش داد. منطقی است که این فرآیند، در پیچیده‌ترین حالات، هر دو فاز استنباط[۲۴] و بازنمایی آگاهی[۲۵] را شامل شود. معذالک اکثر رویکردهای متعارف به یادگیری در حل مسائل، صرفاً به سازماندهی مجدد پارامترها و مقادیر با مفاهیم متغیرها در فاز استنباط پرداخته و به بازنمایی آگاهی‌های ضروری در حل مسأله، توجه خاص مبذول نمی‌دارند.

باشد که دلیل عمده این موضوع، مطرح شدن مسائل به گونه‌ایست که عمده پارامترها و متغیرهایی که تأثیرگذار بر کارایی حل مسأله هستند، در فاز استنباط گنجانیده شوند. برنامه‌ریزی پذیرشی، که به تعبیری حکایت از اعمال دیدگاه یادگیری به تصحیح یک برنامه دارد، به طرز زیرکانه‌ای توانسته است، تا با استفاده از روش یادگیری تشریح پایه[۲۶]، به عنوان شیوه اساسی در یادگیری تحلیلی، که خود دیونگ نیز از مبدعین آن است، عیوب موجود در نماواره اولیه یک برنامه را شناسایی کرده و به رفع آن بپردازد. به تعبیری می‌توان گفت آنچه از یادگیری ماشینی در برنامه‌ریزی پذیرشی رسوب کرده است، استفاده مناسب از روش اکتساب مفاهیم در برطرف ساختن عیوب رویداده در بازنمایی اولیه یک مسأله است. این اهتمام به نوبه خود حاوی این پیام است که با آزمودن روش‌های شناخته شده یادگیری در جنبه‌های غیر متعارف مسائل می‌توان قابلیت یادگیری را در این جنبه‌ها افزایش داد.

در اینجا بدنیست گذری، هر چند اجمالی، بر استدلال مورد پایه[۲۷] و نحوه اعمال یادگیری به آن جهت افزایش سطح کارآمدی این نوع استدلال در حل مسائل داشته باشیم. هم چنانکه می‌دانیم، قیاس روشی قطعی برای استدلال نیست و لذا می‌توان از روش‌های یادگیری در بهتر سازی تدریجی این فرآیند بهره جست. از آنجا که مراحل اصلی در این نوع استدلال، بازیابی[۲۸] موردها (که مبتنی بر نوعی سازوکار ارزیابی شباهت است) و سازگارسازی راه حل[۲۹] می‌باشد، لذا نقش یادگیری در آن، بهترسازی و یا رفع عیوب و نارسایی‌های موجود در تابع ارزیابی شباهت از یکسو، و فرمالیسم سازگارسازی راه‌حل از سوی دیگر است، که در این ارتباط روش‌های مختلفی مبتنی بر طرحواره‌های متعارف یادگیری از قبیل استقراء[۳۰] و الگوریتم‌های وراثتی[۳۱] ارائه شده است، معذالک به این نکته باید توجه داشت که شکست گهگاهی قیاس، به عنوان یک روش استدلال، در بسیاری موارد به نحوه بازنمایی موقعیت تعریف شده در موردها باز می‌گردد. به عبارتی، به رغم هر گونه دقت و ظرافتی که در انتخاب تابع ارزیابی شباهت و فرمالیسم سازگارسازی راه‌حل مبذول می‌شود، به خاطر نارسایی فطری در تعریف یک موقعیت، این فرآیند با شکست مواجه خواهد شد. نتیجه اینکه، مادامیکه فرضیات اولیه در ارتباط با بازنمایی یک موقعیت، یعنی توصیف آن در قالب یک ترکیب عطفی بهینه از یک سری گزاره‌ها، صحیح نباشند، انتظار هرگونه کارآیی بالا از این فرآیند عبث خواهد بود.

پس مطابق با آنچه دیونگ در ارتباط با برنامه‌ریزی پذیرشی بیان می‌دارد، و با توجه به این واقعیت که برخی گزاره‌های لحاظ شده در موقعیت یک مورد فاقد کارآیی لازم در استدلال هستند، و یا اینکه گزاره‌های جدید می‌بایست در ساختار یک موقعیت در نظر گرفته شوند، ساختار یک موقعیت را می‌توان به گونه‌ای تغییر داد تا فرآیند استدلال قیاسی در موقعیت‌هایی که به شکست انجامیده است، به موفقیت سوق داده شود. شایان ذکر است که ارائه بهترین بازنمایی برای موردها، و یا به عبارتی بهینه‌سازی گزاره‌های لحاظ شده در یک موقعیت به ازای یک مسأله خاص، به کمک روش آلگوریتم‌های وراثتی نیز قابل تحقق است، معذالک باید توجه داشت که استفاده از این روش منوط به مشاهدات تجربی فراوانی از یک مسأله است، که عملاً با توجه به محدودیت‌های مختلف، کار چندان ساده‌ای نیست.

استفاده درست از یادگیری تشریح پایه در بهینه‌سازی بازنمایی اولیه یک موقعیت، مشابه آنچه دیونگ در تصحیح نماواره اولیه یک برنامه بیان می‌دارد، ایجاب می‌نماید تا نظریه دامنه خوش تعریفی در این خصوص توسعه داده شود. در تبیین این نظریه دامنه ضروری است که شکست مشاهده شده در حل قیاسی مسأله، به نحوی کیفی یا کمی، توصیف شده و رابطه آن با چون و چند گزاره‌های به کار رفته در بیان یک موقعیت، مشخص گردد.

امتیاز دیگری که در رویکرد دیونگ به برنامه‌ریزی به چشم می‌خورد، انعطاف‌پذیری است که، پس از شناسایی اشکالات و عیوب یک نماواره، در آن به وجود آمده و این امکان را در اختیار نماواره می‌گذارد تا طیف گسترده‌تری از مسائل مشابه برنامه‌ریزی را در آتیه سیستم برنامه‌ریز به طرز موفقی در بر گیرد. از دیدگاه استدلال، امتیاز این انعطاف در آن است که فرآیند استدلال در فاز استنباط را، علی‌رغم برخی کاستی‌های احتمالی در انتخاب مقادیر مؤثر پارامترها، مقاوم می‌نماید. فرآیند استدلال قیاسی، که در فوق به آن اشاره شد، انتخاب بهینه گزاره‌ها در بیان یک موقعیت همراه با محدودیت‌ها و رجحان‌های اضافه شده پس از یادگیری تشریح پایه، این قابلیت را ایجاد می‌کند تا، به رغم برخی کاستی‌های احتمالی در انتخاب تابع مناسب برای ارزیابی شباهت و یا بعضاً فرمالیسم ضروری در سازگار سازی راه‌حل، فرآیند استدلال در قبال موقعیت‌های بدقلق مقاوم گردد. به تعبیری می‌توان اظهار داشت که رویکرد مبتنی بر بهینه‌سازی بازنمایی اولیه، در به طور مثال برنامه‌ریزی کلاسیک، کارگشا می‌باشد. مسائلی که بازنمایی نقش تصمیم گیرنده‌ای در حل آنها دارد، سئوالی که از دیدگاه یادگیری به برنامه‌ریزی پذیرشی وارد است اینستکه آیا با توجه به ملحوظ بودن اطلاعات اجزاء اولیه مسأله

در نمـاواره اولیه، نمی‌توان تبعات یک برنامه را پیش از فعال شدن آن به گونه‌ای به رؤیـت درآورد؟ شـاید پاسخ این پرسش این باشد که برنامه‌ریزی پذیرشی تنها در صـورت مشـاهده شکسـت در اجـرای بـرنامه اسـت که به تشریح علت شکست در نماواره می‌پردازد، معذالک این نکته را نباید نادیده گرفت که گزاره‌های لحاظ شده در یـک بـرنامه را مـی‌توان فرضاً شکست یافته انگاشت و آنگاه به بررسی این نکته پرداخـت که آیا منشأ این شکست (که در انتخاب نابجای پارامترها نهفته است) در نماواره اولیه وجود دارد یا خیر، و به اینگونه می‌توان، پیش از مشاهده نظری برنامه، آن را عیـب زدایی نمود. چنانچه از این منظر با دقت هر چه تمامتر به برنامه‌ریزی پذیرشـی بـنگریم، در می‌یابیم که این رویکرد، در واقع ابزاری برای اعتبارسنجی و اثـبات صـحت/سـقم یـک برنامه نیز می‌باشد، که دیونگ می‌بایست صریحاً در متن مقالـه بـه آن اشـاره مـی‌کـرده است. تنها ایرادی که به این منظر وارد است، حجم نسـبتاً زیـاد عملـیات پردازشـی است که بابت گزاره‌های صحیح صرف می‌گردد. به ویـژه در مواردیکـه یـک برنامه از دستورات زیادی تشکیل شده باشد، تصحیح یک بـرنامه تـنها بـا رؤیـت شکستی که در عمل از خود نشان می‌دهد، مقرون به صرفه خواهد بود. معذالک اعتبارسنجی یک برنامه، پیش از هرگونه اقدام در فعال ساختن آن، مـورد مهمـی است که در بسیاری از انواع برنامه‌ریزی می‌بایست مد توجه قرار گیرد.

ب- از دیدگاه عدم قطعیت[۳۲]

اگـر چـه محیط یـک مسأله را نمی‌توان به طور دقیق شناسایی کرد، و به تبع این نکته مسائل برخاسته از محیط ممکن است حاوی اطلاعات ناشناخته‌ای برای حلال مسـأله باشـند، معذالک برخی از انواع عدم قطعیت را می‌توان در قالب توابع توزیع احتمالاتی یا توابع توزیع امکانی (توابع توزیع شولا) و یا روش‌های دیگر مدلسازی نمـوده و از آن بـه عنوان ابزار کارگشایی برای حل مسائل در محیط‌های غیرقطعی بهـره جست. این توابع توزیع می‌توانند طیفی از نوفه‌ها[۳۳] و خطاهای محتمل‌الوقوع در یـک محیط را در سطوح مختلف در برگیرند. شناخت این چنینی از یک محیط غـیر قطعـی، بـه تعبیری حاوی نوعی سازوکار کنترل وفقی در محیط برنامه‌ریزی اسـت که نتایج آن را می‌توان در قالب ویژگی بخشی به یک سری عملگرهای شولا و یـا سـازوکارهای وفقـی و واکنشـی در اصـلاح مسیر اجرای برنامه، همانگونه که دیونـگ نیز در متن مقاله به آن اشاره داشته است، متبادر یافت. معذالک در مسائل جهـان واقعـی، بـه کرات با نمونه‌هایی از محیط مواجه می‌شویم، که ناشناختگی به گونـه‌ای نیست که بتوان از دیدگاه عدم قطعیت مدل‌پذیر[۳۴] با آن برخورد نمود. در چنیـن نمونـه‌هایی، تنها جایگزیـن منطقـی، نگـرش مجدد به مفاهیم متغیرهای ضـروری به گونه‌ایست که این مفاهیم و مقادیر را برای فاز ناشناخته از یک مسأله، که ناشناخته بودن آن به طور عملی تجربه شده است، با درصد قابل قبولی تصحیح نماید. آنچه دیونگ در برنامه‌ریزی پذیرشی به آن می‌پردازد، ارائه یک شیوه مناسب مبتنـی بـر یادگیری تشـریح پایـه جهت تحقق بخشی به فرآیند فوق می‌باشد. به عبارتی، برنامه‌ریزی پذیرشی، به جای آنکه با عدم قطعیت مدل شده رویاروی شده و بـه کنترل موقعیت‌های غیرقطعی در برنامه‌ریزی بپردازد، سعی در قطعی ساختن ابهـام خـود پـیرامون اشـکالات و نارسـایی‌هـای رویـت شده از یک برنامه دارد. به تعبـیری مـی‌تـوان ادعـا نمود که برنامه‌ریزی پذیرشی، به عنوان جریانی همروند با روش‌هـای وفقـی در بـرنامه‌ریـزی، مـی‌تواند فازهایی از یک مسأله را که فاقد عدم قطعیت سازگارپذیر[۳۵] باشند، مشمول برنامه‌ریزی قرار دهد.

ضمیمه- مثال ارائه شده از مقاله دیونگ

موقعیتـی را که در شکل ۱ نشان داده شده است، در نظر بگیرید. در این‌جا، بازوی یـک ربـات قـرار اسـت بـا عبور از یک مانع به گرفتن هدف بپردازد. اشیا در جهان واقعـی بـه صـورت چند ضلعی‌هایی که روی میز قرار داده شده‌اند، تعریف شده‌اند. فـرض کنـید کـه سیستم دارای مجموعه‌ای از عملکرد برنامه‌ریزی مانند MOVE-LEFT(x)، MOVE-UP(x) و OPEN-GRIPPER(x) باشد که تغییرات محیط را در قـبال کـنش‌هـای انجـام شـده مشخص می‌کند. در اینجا، فرض می‌کنیم که عملگرها به طور پارامتریک قابل کنترل بوده و هرگونه تغییر پارامتریک در ساختار یـک عملگـر بـه یـک تغییـر کیفـی در کارکـرد آن بیانجامد. به این ترتیب، عملگر MOVE-UP از لحـاظ ارزش بزرگـتر از صفر بوده و هر چه ارزش آن افزایش یابد، شـاخص آن خواهـد بـود کـه فاصله نهایی دست آدمواره با سقف به طور یکنواخت کاهش می‌یابد.

برنامه‌ای که برای این موقعیت می‌توان داشت به شرح زیر است:

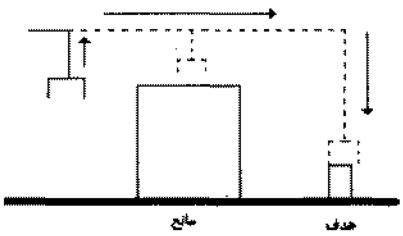
- حالت اولیه

HEIGHT (OBST, 4.7)
HEIGHT (TARG, 2.2)
WIDTH (OBST, 2.6)
WIDTH (TARG, 1.0)
POSITION (OBST, 4.5)
POSITION (TARG, 10.9)
GRIPPER-AT (2.6, 2.1)

- راه‌حل

MOVE-UP (2.4)
MOVE-RIGHT (8.3)
OPEN-GRIPPER (1.0)
MOVE-DOWN (3.7)
CLOSE-GRIPPER (1.0)

راه‌حـل فـوق، بـه کمک روش یادگیری تشریح پایه[۳۶] قابل تعمیم به نماواره‌ای است که کلاسی از مسائل مشابه را در بر می‌گیرد.



شکل ۱- برنامه ای برای رد شدن از روی مانع

لکـن بـاید توجـه داشت که اجرای چنین برنامه‌ای در جهان واقعی، بیشتر شبیه به موقعیتی خواهد بود که در شکل ۲ ترسیم شده است. در این‌جا برنامه پیشنهادی از دو اشـکال متفاوت که از تصادم دست آدمواره با اشیا سرچشمه می‌گیرد، برخوردار است. هر یک از این دو تصادم، به خاطر ترکیبی از باورهای[۳۷] اندکی نادرست یعنی: الـف) کنش MOVE-UP قادر نیست که بازوی آدمواره را در حد کافی بلند کند (بـه خاطـر ایـن کـه بلـوک مـانع مـرتفع‌تـر از حـد باور شده است)، و ب) کنش MOVE-RIGHT بازوی آدمواره را بیش از حد مورد انتظار باز می‌کند و همچنین بلـوک هـدف در مکانی نزدیکتر از باور ترسیم شده قرار گرفته است ، بروز می‌یابد. چـنانچه خواسـته باشـیم مسـأله فـوق یعنـی شکست بـرنامه را از دیدگـاه تورش بـرنامه‌ریزی بررسی کنیم، می‌بینیم که تورش برنامه‌ریزی در ارتباط با این نماواره، حداقل این دو مورد یعنی از دست دادن مانع و محیط کردن هدف را شامل می‌شود.

نکته‌ای که به ما مربوط می‌شود این است که نوعی تورش در این برنامه نهفته است کـه منشأ آن تجربه بسیار کم پیرامون مسائل مشابه‌ای است که نماواره فوق ادعای حـل آن را دارد. زمانـی کـه بـا اولیـن اشکال در شکل ۲ مواجه شدیم، برنامه‌ریزی پذیرشی به این نکته می‌رسد که تورش نماواره می‌بایست تغییر داده شود. با آگاهی کیفی اضافی که در دسترس است، می‌توان این تغییر را هدایت کرد. در ابتدای امر، اشکال رؤیت شده تشخیص داده می‌شود. تمامی آنچه سیستم می‌داند این است که عملگـر MOVE-RIGHT بـه ثمر نرسیده است. مشاهده این اشکال به خاطر یک

نیروی تصادم غیرقابل انتظار است. لکن هیچ راهی برای دانستن هویت جسم تصادم کننده نیست. فرض بر این است که آگاهی بازنمایی شده از جهان واقعی تقریبی است. به عبارتی تفاوت میان جهان واقعی و آنچه از آن بازنمایی شده اندک است. تصادم می‌تواند با بلوک هدف یا میز صورت گیرد، اما از آنجا که بلوک مانع به نقطه تصادم نزدیکترین است، به همین خاطر تصادم با بلوک هدف به عنوان اولین جایگزین در نظر گرفته می‌شود.

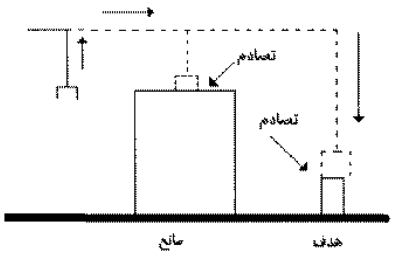
در وهله بعد، مجموعه‌ای از پارامترهای مربوط در برنامه به طور کیفی شناسایی می‌شوند. این‌ها مقادیر ثابتی هستند که ارزش آن‌ها دقیقاً مطابق با نیاز مسایل جدید نبوده است. به این ترتیب، مجموعه ترکیبات مختلف برای ارزش این پارامترها فضای تورش برنامه‌ریز را تشکیل خواهد داد.

- حالت اولیه

HEIGHT (?Obstacle, ?OH)
HEIGHT (?Target, ?TH)
WIDTH (?Obstacle, ?OW)
WIDTH (?Target, ?TW)
POSITION (?Obstacle, ?OP)
POSITION (?Target, ?TP)
GRIPPER-AT (?GX, ?GY)

- راه‌حل

MOVE-UP (?OH-?GY)
MOVE-RIGHT (?TP-?GX)
OPEN-GRIPPER (?TW)
MOVE-DOWN (?OH-?TH)
CLOSE-GRIPPER (?TW)



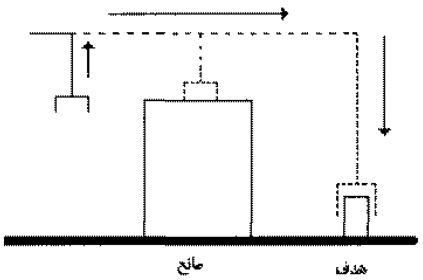
شکل ۲- اجرای برنامه شکل ۱ در عمل

هر مقدار ثابت به کمک تشریح[۳۸]، در قسمت شناسایی آن‌هایی که ارزششان به طور کیفی منجر به اشکال می‌شود، امتحان می‌شود. در این‌جا، فقط با یک مقدار ثابت این چنینی مواجه هستیم و آن آرگومان اولین کنش یعنی MOVE-UP است. این آرگومان می‌بایست، در جهت ارضای پیش شرط یک مسیر واضح برای کنش MOVE-RIGHT، حداقل ارزش ?OH-?GY به خود بگیرد، آرگومان ?OH-?GY برای این منظور کافی تشخیص داده شده است.

در نهایت، تورش تنظیم می‌شود. از لحاظ کیفی، احتمال بروز یک تصادم با مانع، با حداکثر شدن ارزش آرگومان در گزاره MOVE-UP، کمینه می‌شود. در این ارتباط، ارزش ?OH-?GY زیاده از حد کوچک است. نماواره مربوطه، با افزودن یک قید و یک رجحان[۳۹]، اصلاح[۴۰] می‌شود. این قید نمایانگر این واقعیت است که آرگومان MOVE-UP می‌بایست ارزشی بیشتر از ?OH-?GY داشته باشد. رجحان یادشده، در طبیعت خود کیفی بوده و مشخص کننده این نکته است که کاربری[۴۱] مورد انتظار، با افزایش ارزش آرگومان، بهتر می‌شود. از حال به بعد، سیستم از تورشی برخوردار می‌شود که به کمک آن می‌تواند با رسیدن به یک مانع، تا حد ممکن، حرکت کند. قیود و رجحان‌ها، در کنار هم، یک حافظه تعمیم یافته از تجربه اشکالات را جهت تأثیر بر روی پردازش‌های آتی فراهم می‌کنند.

چنین قیود و رجحان‌هایی عملاً توجه برنامه‌ریز را از بسیاری نماواره‌های اضافی دور می‌سازد، و این همان تعمیم‌دهی تجربه است. ممکن است هیچ اشکال اضافی که توسط این پارامتر برنامه قابل تشریح باشد، اتفاق نیفتد. در چنین حالتی، می‌توان ادعا کرد که پارامتر به ارزش مناسب خود رسیده است. از طرف دیگر، ممکن است نوع دیگری از اشکال کیفی، مثلاً به این دلیل که بازوی آدمواره حال به نقطه زیاده از حد مرتفعی برسد، روی دهد. با رویارویی با چنین اشکالی، یک تشریح کاملاً متفاوت، قیدی را به سیستم اعمال می‌کند که طی آن آرگومان MOVE-UP ارزشی کم‌تر از آن کران حداکثر کشف شده به خود بگیرد. همچنین، این رجحان کیفی به سیستم اعمال می‌شود که ارزش این آرگومان تا حد ممکن پایین باشد.

سیستم همچنین ممکن است که در زمان گرفتن هدف (تصادم دوم در شکل ۲)، با یک تصادم مواجه شود. این بار نیز، تورش سیستم به گونه‌ای تنظیم می‌شود که دست آدمواره در زمان رسیدن به هدف، هرچه سریع‌تر، باز شود. پایان همه این ماجرا این خواهد بود که برنامه‌ریزی پذیرشی راه‌حلی را مشابه آنچه در شکل ۳ نشان داده شده، ایجاد می‌کند. شایان توجه است که یک ویژگی مهم برنامه‌ریزی پذیرشی این است که این برنامه، به رغم تفکرات کلاسیک برنامه‌ریزی، هیچ‌گونه تلاشی در برطرف ساختن نقاط ضعف برنامه‌ریز ندارد. به عبارتی، در این شکل برنامه‌ریزی، ضعف برنامه‌ریز مفهومی ندارد. این تغییر در نوع مسایل برنامه‌ریزی است که منجر به این تفکر می‌شود که برنامه‌ریز دارای ضعف است. پس باید کوشید که در هنگام مواجهه با مسایل جدید، با تغییر در تورش‌های برنامه‌ریز، به راه‌حل‌های مناسب جدید رسید.



شکل ۳- یک راه حل محافظه کارانه

---

[۱] Classical planning
[۲] Real world
[۳] Micro world
[۴] Representations
[۵] Operators
[۶] Permissive planning
[۷] Initial state
[۸] Competence set
[۹] Performance item planners
[۱۰] Initial bias
[۱۱] Action
[۱۲] Refinement & discovery
[۱۳] Belief revision
[۱۴] Action theories

۱۵ Reactivity
۱۶ Reactive system
۱۷ What-if
۱۸ Policy
۱۹ Dynamics
۲۰ Domain knowledge
۲۱ Projection
۲۲ Bias space
۲۳ Schema
۲۴ Inference
۲۵ Knowledge representation
۲۶ Explanation-based learning
۲۷ Case-based reasoning
۲۸ Retrieval
۲۹ Solution adaptation
۳۰ Induction
۳۱ Genetic algorithms
۳۲ Uncertainty
۳۳ Noise
۳۴ Modellable uncertainty
۳۵ Adaptable uncertainty
۳۶ Explanation-based learning
۳۷ Belief

کامبیز بدیع فارغ التحصیل دبیرستان البرز تهران بوده و درجات کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود را در زمینهٔ مهندسی الکترونیک و برق از انستیتو تکنولوژی توکیو دریافت نموده است. اهم فعالیت های تحقیقاتی نامبرده در حال حاضر در زمینه یادگیری ماشین و مدلسازی شناختی به طور اعم و مدلسازی قیاسی، مدلسازی تفسیر، یادگیری از تجربه و زایش خلاق ایده ها به طور اخص می باشد. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی و مدیر گروه تخصصی جامعه اطلاعاتی در مرکز تحقیقات مخابرات ایران و عضو هیأت مدیرهٔ انجمن کامپیوتر ایران میباشد.