روشی برای استدلال توزیع‌شده غیر قطعی میان آنتولوژی‌ها

فروغ انوشا، بهروز ترک لادانی و محمدعلی نعمت‌بخش

چکیده: وب معنایی یکی از گسترده‌ترین موضوعات تحقیقی در چند سال اخیر است که در آن مفهوم بسیار مهم و ارزشمندی به نام آنتولوژی وجود دارد. آنتولوژی اطلاعات و دانش موجود در دامنه مورد نظر را به صورت صوری توصیف می‌کند و با وجود این توصیف صوری امکان استدلال در آنها فراهم می‌شود. به دلیل توزیع‌شدگی وب معنایی و پراکندگی آنتولوژی‌ها و داده‌ها در سطح وب، در بسیاری از موارد استدلال متمرکز به سختی انجام می‌شود و لازم است استدلال به صورت توزیع‌شده میان آنتولوژی‌های مختلف یک حوزه دانش صورت پذیرد. از طرف دیگر در اطلاعات موجود در وب معنایی همانند بسیاری از موضوعات دیگر عدم قطعیت و اطمینان وجود دارد. مدل‌سازی عدم قطعیت در وب معنایی و استدلال در اطلاعات غیر قطعی نیز از موضوعات تحقیقاتی جدیدی است که در دهه اخیر به آن پرداخته شده است. در این مقاله تلاش شده روشی برای استدلال توزیع‌شده میان گروهی از آنتولوژی‌ها که دارای اطلاعات غیر قطعی هستند، ارائه شود که از کارایی مناسبی نیز برخوردار باشد. برای این منظور از منطق توصیفی توزیع‌شده به عنوان چارچوبی برای استدلال توزیع‌شده و از نظریه عدم قطعیت برای مدل‌سازی عدم قطعیت بهره گرفته شده است. به کمک روش ارائه‌شده امکان استدلال میان گروهی از آنتولوژی‌های توزیع‌شده با اطلاعات غیر قطعی فراهم خواهد شد. نتایج کاربرد این روش در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها نشان می‌دهد این روش از دقت و درستی بیشتری نسبت به روش استدلال توزیع‌شده قطعی برخوردار است.

کلید واژه: **استدلال توزیع‌شده غیر قطعی، منطق توصیفی توزیع‌شده، نظریه عدم قطعیت، آنتولوژی، وب معنایی.**

۱- مقدمه

سیستم‌های توزیع‌شده شامل تعداد زیادی اجزای محاسباتی در یک شبکه گسترده هستند که با یکدیگر در تعاملند. از جمله سیستم‌های توزیع‌شده می‌توان به وب معنایی[۱]، سرویس‌های وب[۲]، کسب و کار اینترنتی[۳]، تجارت موبایل[۴]، محاسبات خودکار[۵]، گرید[۶] و محیط‌های محاسبات فراگیر[۷] اشاره نمود. در همه این سیستم‌ها نیاز به اجزای خودمختاری[۸] است که توانایی رفتار مستقل و همچنین تعامل انعطاف‌پذیر با سایر اجزا را داشته باشند. یکی از مهم‌ترین سیستم‌های توزیع‌شده وب معنایی است که هدف آن ایجاد رسانه‌ای جهانی برای رد و بدل کردن اطلاعات است به طوری که این اطلاعات نه تنها برای انسان‌ها بلکه برای کامپیوترها نیز قابل فهم و پردازش باشند [۱] و [۲]. در وب معنایی مفهوم مهمی به نام آنتولوژی وجود دارد که توصیفی صوری[۹] از دامنه مورد کاربرد است و برای ساختاردادن به اطلاعات، اشتراک دانش میان سیستم‌های اطلاعاتی، استفاده مجدد از دانش و ... به کار می‌رود [۱]. توصیف صوری در بیان آنتولوژی‌ها سبب بهبود کیفیت آنها، کشف دانش جدید و نهفته در دامنه دانش مورد نظر شده و امکان استدلال در آنها را نیز فراهم می‌کند. اما وب معنایی همانند وب فعلی به صورت ذاتی توزیع شده است و آنتولوژی‌ها و داده‌ها در سطح وب پراکنده شده‌اند. در این حالت استدلال متمرکز به سختی انجام می‌شود و در بسیاری موارد غیر ممکن است. علاوه بر این ممکن است دانش محلی تمامی روابط مورد نیاز برای استدلال را در اختیار نداشته باشد و روابط نهفته موجود در آنتولوژی با استدلال متمرکز و محلی قابل کشف نباشند. در این صورت می‌توان با استدلال توزیع‌شده و به کمک روابطی که میان مفاهیم محلی یک آنتولوژی و مفاهیم محلی آنتولوژی دیگر برقرار است روابط نهفته موجود در یک آنتولوژی را مشخص نمود. استدلال توزیع‌شده به کارایی بیشتر سیستم و تعاملات بیشتر داده‌ها منجر شده و به منظور دستیابی به روابط پنهان و جدید موجود در آنتولوژی‌های محلی و گسترش دانش مورد نظر انجام می‌شود. همچنین این نوع استدلال در آنتولوژی‌ها سبب بهبود کشف و اشتراک دانش و تجمیع و تعامل داده‌ها می‌شود.

از طرف دیگر در دهه اخیر یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مهم در وب معنایی، پایگاه داده‌ها و هوش مصنوعی چگونگی مدل‌سازی عدم قطعیت و استدلال در مدل با در نظر گرفتن عدم قطعیت است [۳] و [۴]. مفهوم عدم قطعیت[۱۰] به نوعی نقص و غیر کامل بودن اطلاعات گفته می‌شود به طوری که درستی این اطلاعات به صورت کامل مشخص نیست و دانش نسبی در مورد درست‌بودن آنها وجود دارد [۵]. امکانات وب معنایی و منطق توصیفی[۱۱] که برای بیان و توصیف آنتولوژی‌ها در وب معنایی به کار می‌رود، در مدل‌سازی و نمایش مفاهیم غیر قطعی و روابط میان آنها کافی نیست و لازم است گسترش داده شوند. زبان‌های مربوط به آنتولوژی‌ها در وب معنایی همانند OWL و RDF[۱۲] نیز بر اساس منطق قطعی هستند و نمی‌توانند اطلاعات ناقص و غیر قطعی را در کاربردهای مختلف نمایش دهند. در بسیاری از زمینه‌های وب معنایی نظیر ایجاد تطابق[۱۳] در سرویس‌های وب [۶]، حاشیه‌نویسی[۱۴] چندرسانه‌ای [۷]،

این مقاله در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ دریافت و در تاریخ ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۱ بازنگری شد.

فروغ انوشا، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: forooghanoosha@gmail.com).

بهروز ترک لادانی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: ladani@eng.ui.ac.ir).

محمدعلی نعمت‌بخش، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: nematbakhsh@eng.ui.ac.ir).

1. Semantic Web
2. Web Services
3. E-Business
4. M-Commerce
5. Automatic Computing
6. Grid
7. Pervasive Computing
8. Autonomous
9. Formal
10. Uncertainty
11. Description Logic
12. Resource Description Framework
13. Matching
14. Annotation

Archive of SID

www.SID.ir

یادگیری و تطابق آنتولوژی‌ها [۸] و ... نیاز به مدل‌سازی عدم قطعیت مشخص شده است. در نظر گرفتن عدم قطعیت در نمایش و توصیف اطلاعات منجر به مدل‌سازی واقعی‌تر و صحیح‌تری از دامنه مورد کاربرد می‌شود. به همین دلیل مدیریت عدم قطعیت که یکی از چالش‌های وب معنایی و منطق توصیفی است، برای موفقیت در بسیاری از زمینه‌ها به خصوص وب معنایی ضروری است [۳].

با توجه به اهمیت مطالب ذکرشده، در این تحقیق تلاش شده با در نظر گرفتن عدم قطعیت مفاهیم و روابط موجود در آنتولوژی‌ها، روشی برای استدلال توزیع‌شده میان تعدادی آنتولوژی با اطلاعات غیر قطعی ارائه شود. یکی از زمینه‌های مهم کاربرد این روش، پالایش نگاشت‌های میان آنتولوژی‌های ناهمگن در یک دامنه دانش است. به کمک استدلال توزیع‌شده غیر قطعی، نگاشت‌های اضافه تشخیص داده شده و با توجه به عدم قطعیتشان تصمیم به حذف یا نگهداری آنها گرفته می‌شود. به همین منظور برای توصیف این سیستم از منطق توصیفی توزیع‌شده (DDL)[1] [۹] استفاده می‌شود که در آن آنتولوژی‌های موجود در دامنه دانش توسط منطق توصیفی و نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها به کمک قوانین ارتباطی[2] بیان می‌شوند. ماهیت عدم قطعیتی که در این تحقیق در نظر گرفته شده ناشی از ابهام یا عدم قطعیت مربوط به احتمالات نیست بلکه نوعی عدم قطعیت است که به علت دانش ناقص و ناتوانی در تعیین درستی کامل عبارات و مفاهیم به وجود می‌آید. برای مدل‌سازی این نوع عدم قطعیت، از نظریه قطعیت[3] مطرح‌شده در سیستم‌های خبره[4] استفاده شده و در استدلال توزیع‌شده غیر قطعی میان گروهی از آنتولوژی‌ها به کار رفته است. کاربرد این روش در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها سبب حذف نگاشت‌های زاید با قطعیت نامناسب و افزایش کارایی و کیفیت سیستم‌های توزیع‌شده غیر قطعی می‌شود. مقایسه نتایج پیاده‌سازی و کاربرد این روش با نتایج سیستم DRAGO [۱۰] نشان می‌دهد اهمیت‌دادن به عدم قطعیت در استدلال توزیع‌شده میان آنتولوژی‌ها، دقت و کارایی سیستم را افزایش داده و نتایج واقعی‌تری به دست می‌آورد.

در ادامه این تحقیق در بخش ۲ به مروری بر کارهایی که در این زمینه انجام شده پرداخته می‌شود. پس از آن در بخش ۳ ابتدا روش ارائه‌شده برای استدلال توزیع‌شده غیر قطعی و سپس کاربرد آن در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها بررسی می‌شود. نتایج پیاده‌سازی و تحلیل آنها در بخش ۴ ذکر شده‌اند و در بخش ۵ نتیجه‌گیری و راهکارهای آینده ارائه شده‌اند.

۲- کارهای گذشته

در سال‌های اخیر با گسترش‌یافتن وب معنایی، به تدریج آنتولوژی‌های مختلفی در زمینه‌های گوناگون دانش به وجود آمدند. همچنین در یک دامنه مشخص نیز آنتولوژی‌های متفاوتی از نظر لغوی، ساختاری و معنایی توسط متخصصین مختلف طراحی شدند. وب معنایی همانند وب فعلی به صورت ذاتی توزیع شده است و آنتولوژی‌ها و داده‌ها در گره‌های مختلفی پراکنده هستند. در این حالت استدلال متمرکز به سختی انجام می‌شود و در بسیاری موارد غیر ممکن است. به همین جهت استدلال در ساختار توزیع‌شده به کارایی بیشتر سیستم و تعاملات بیشتر داده‌ها منجر می‌شود.

تا کنون استدلال‌گرهای مختلفی برای استدلال در آنتولوژی‌ها طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند که از میان آنها می‌توان به Pellet [۱۱]، Racer [۱۲]، FaCT++ [۱۳]، KAON2 [۱۴]، OWLIM [۱۵]، Minerva [۱۶] و Instance Store [۱۷] اشاره نمود اما این استدلال‌گرها قادر به استدلال توزیع‌شده در آنتولوژی‌های موجود در وب معنایی که منجر به اشتراک دانش و تجمیع و تعامل داده‌ها می‌شود، نیستند [۱۸].

به منظور استدلال توزیع‌شده در آنتولوژی‌ها، تا کنون چارچوب‌های مختلفی پیشنهاد شده‌اند که از معروف‌ترین آنها می‌توان به منطق توصیفی توزیع‌شده (DDL) [۹]، ε - Connections [۱۹] و منطق توصیفی مبتنی بر بسته[5] (P-DL) [۲۰] اشاره کرد. تاکنون برخی از تحقیقات صورت‌گرفته صورت‌گرفته از چارچوب‌های معرفی‌شده فوق استفاده و تلاش کرده‌اند الگوریتم‌هایی برای استدلال توزیع‌شده ارائه دهند. در حالی که گروه دیگری از تحقیقات تلاش می‌کنند از روش‌های استدلال متمرکز بهره گرفته، آنها را گسترش داده و به صورت توزیع‌شده میان چندین آنتولوژی اجرا کنند. یکی از معروف‌ترین سیستم‌هایی که برای استدلال توزیع‌شده در آنتولوژی‌ها طراحی و پیاده‌سازی شده، DRAGO است که میان گروهی از آنتولوژی‌های ناهمگن موجود در دامنه‌ای از دانش، استدلال توزیع‌شده انجام می‌دهد [۱۰]. این سیستم از مکانیزم‌های استدلال در چارچوب DDL استفاده کرده، الگوریتم Tableau [۲۱] را گسترش داده و نسخه توزیع‌شده‌ای از آن را به منظور استدلال میان چندین آنتولوژی ارائه داده است. بر خلاف روش‌های معمول متمرکز که ابتدا چندین آنتولوژی را یک‌پارچه نموده، یک آنتولوژی سراسری تشکیل داده و سپس در این آنتولوژی یک‌پارچه استدلال متمرکز انجام می‌دهند، در سیستم DRAGO آنتولوژی‌ها مستقل از یکدیگر هستند و استدلال توزیع‌شده میان آنتولوژی‌های مجزا انجام می‌شود. در این صورت هر یک از آنتولوژی‌های محلی استدلال‌گرهای مخصوص به خود را دارند و نیازی به وجود استدلال‌گر یکسان و مشترکی میان آنها نیست. این سیستم در چند کاربرد مهم از جمله ایجاد آنتولوژی‌های پیمانه‌ای، تشخیص نگاشت‌های خطادار و زاید از استدلال توزیع‌شده استفاده می‌نماید [۱۰]. روش دیگر برای انجام استدلال توزیع‌شده توسط فنگ و همکاران [۱۸] ارائه شده که برای این منظور تلاش می‌کند با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی در ساختار آنتولوژی‌ها، استدلالی با کارایی بالا انجام دهد. پس از آن روابط معنایی را میان داده‌هایی که در سیستم‌های مختلف پراکنده‌اند در زمان مناسب پیدا می‌کند. این تحقیق به منظور انجام استدلال از روشی کارا و مؤثر به نام DHT[6] برای سازماندهی نمونه‌های آنتولوژی‌ها استفاده کرده و سپس میان این نمونه‌ها استدلال انجام می‌دهد. داده‌ها به کمک روش جداسازی مبتنی بر DHT در گره‌های مختلف توزیع شده و در پایگاه داده رابطه‌ای با ساختار مناسب ذخیره شده‌اند تا با همکاری میان گره‌ها استدلال توزیع‌شده انجام شود. روش دیگر در این زمینه روش Marvin است که در آن تعداد زیادی اجزا توزیع‌شده با پیوندهای ضعیف به هم مرتبط هستند و تلاش می‌کنند پردازش‌هایی بر روی مقدار زیادی از داده‌های RDF انجام دهند [۲۲]. رویکرد این تحقیق به منظور استدلال توزیع‌شده در وب معنایی، ارائه استراتژی مسیریابی مناسب میان گره‌های مختلف است به طوری که معیارهایی نظیر اندازه، توزیع‌شدگی داده‌ها و نرخ جابه‌جایی میان گره‌ها به صورت بهینه تأمین شوند. این روش با روش‌های مبتنی بر DHT مقایسه شده و نشان داده که در ساختارهای بزرگی که

1. Distributed Description Logic
2. Bridge Rules
3. Certainty Theory
4. Expert Systems
5. Package - Based Description Logic
6. Distributed Hash Table

Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های مبتنی بر DHT به کار می‌روند توزیع‌شدگی به صورت مناسب و بهینه‌تری تأمین شده است. روش دیگر برای انجام استدلال توزیع‌شده استفاده از الگوریتم حل[1] توزیع‌شده است و در آن به کمک الگوریتم‌های حل محلی و انتشار اصول منطقی میان استدلال‌گرهای محلی، استدلال توزیع‌شده انجام می‌شود [۲۳]. هدف این روش توزیع‌نمودن مراحل استدلال میان چندین استدلال‌گر است تا به کمک آن از مزایای استدلال توزیع‌شده استفاده شود. در صورتی که عبارت‌های قابل استدلال توسط استدلال‌گرهای یکسانی پردازش شوند، الگوریتم حل بدون از دست دادن ویژگی کامل‌بودن می‌تواند توزیع شود.

برای مدل‌سازی عدم قطعیت در وب معنایی محققان زیادی منطق توصیفی و زبان بیان آنتولوژی‌ها در وب (OWL) را با رهیافت‌های مختلفی نظیر احتمالات[2]، امکان‌پذیری[3] و فازی توسعه داده‌اند که از معروف‌ترین آنها می‌توان به رهیافت‌های احتمالی و فازی اشاره کرد [۳]. رهیافت احتمالی بر اساس نظریه احتمالات است که اصول آن را وارد منطق توصیفی کرده و منطق توصیفی احتمالی را ایجاد نموده است [۲۴]. رهیافت فازی بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی است که به کمک این نظریه منطق فازی را شکل داده است [۲۵]. اگرچه هر دوی این روش‌ها مقادیر عددی را به رابطه‌های شمول مفاهیم و اعلان‌های مربوط به نمونه‌ها در یک پایگاه دانش نسبت می‌دهند اما معنای آنها کاملاً از یکدیگر متفاوت است. نظریه احتمالات به مواردی اشاره می‌کند که یک گزاره یا درست است یا نادرست اما به دلیل فقدان اطلاعات معلوم نیست که کدام حالت است و در واقع احتمالی را نشان می‌دهد که گزاره درست است. اما منطق فازی با ابهام و غیر دقیق بودن یک گزاره سر و کار دارد و بیان می‌کند گزاره فقط تا یک درجه و حدی درست است.

به طور کلی در تحقیقات اخیر الگوریتم‌های استدلال فازی بیشتر بر اساس توسعه الگوریتم Tableau با اطلاعات فازی هستند. در بعضی تحقیقات دیگر زبان توصیف آنتولوژی‌ها (OWL)، با نظریه مجموعه فازی گسترش داده شده و fuzzy OWL (f - OWL) به دست آمده است. در همین راستا نوعی از منطق توصیفی که سطح بیان و رسایی زیادی دارد با اطلاعات فازی بسط داده شده و به منظور انجام استدلال، تناظری از استدلال در منطق توصیفی به استدلال و توجیه‌پذیری در منطق توصیفی فازی‌شده ایجاد شده است [۲۶]. همچنین از جمله اولین کارهای انجام‌شده در منطق توصیفی احتمالی، ارائه بسط احتمالی از منطق توصیفی ALC است که دانش احتمالی در مورد مفاهیم را بر اساس استلزام منطقی در منطق احتمالی به دست می‌آورد اما در منطق سنتی و احتمالی از اعلان‌های نمونه‌ها پشتیبانی نمی‌کند [۲۷]. لوکاسیویکز گسترشی احتمالی در نوعی از منطق توصیفی را پیشنهاد نموده و اخیراً توسعه‌ای احتمالی برای OWL DL ارائه داده که استدلال غیر قطعی احتمالی را در وب معنایی پشتیبانی می‌کند [۲۸]. منطق توصیفی احتمالی ارائه‌شده در این تحقیقات از دانش احتمالی در مورد مفاهیم پشتیبانی می‌کند. در این صورت پایگاه دانشی که شامل مفاهیم و اصول منطق توصیفی احتمالی است، توسعه‌یافته پایگاه دانش منطق توصیفی استاندارد با دانش احتمالی در مورد مفاهیم، نمونه‌ها و روابط است. بیشتر کارهایی که تلاش کرده‌اند عدم قطعیت را به کمک احتمالات در آنتولوژی‌ها وارد کنند بر اساس شبکه بیز[4] [۲۹] هستند. در سال‌های اخیر ترکیب زبان OWL با فرمول‌های احتمالی مبتنی بر روش بیز منجر به انجام تحقیقات متنوعی شده است. به عنوان مثال به منظور پشتیبانی از احتمالات، زبان OWL توسعه داده شده و چارچوب PR - OWL در این زمینه پیشنهاد شده است [۳۰]. این چارچوب نظریه شبکه بیز چندنهادی[5] (MEBNs) را در آنتولوژی به کار می‌برد که دانش مورد نظر را به صورت قطعه‌هایی مشخص‌شده از شبکه بیز که شامل نهادها، صفات و رابطه‌های میان آنها است توصیف می‌کند. مدل BayesOWL نیز چارچوبی احتمالی است که زبان OWL را برای نمایش و استدلال عدم قطعیت، به کمک شبکه بیز کامل‌تر نموده و در نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها به کار می‌برد [۳۱]. همان طور که گفته شد، رهیافت‌های فازی و احتمالی هر یک به منظور مدل‌سازی انواع مختلفی از عدم قطعیت طراحی شده‌اند. در رهیافت فازی اطلاعاتی که دارای ابهام هستند و تعریف دقیق آنها ممکن نیست مدل‌سازی می‌شوند. روش‌های استدلال در این رهیافت تلاش می‌کنند عدم قطعیت را در انواع استدلال اعم از توجیه‌پذیری[6]، سازگاری[7] و غیره بررسی کنند. رهیافت احتمالی نیز معمولاً با نمونه‌ها و داده‌های آماری در ارتباط است و احتمالات را برای آنها تعیین می‌کند. این رهیافت در مسایلی کاربرد دارد که نمونه‌های زیادی در اختیار باشد و بر اساس آنها بتوان احتمالات را محاسبه نموده و در استدلال استفاده کرد.

عدم قطعیتی که در این تحقیق در نظر گرفته شده ناشی از ابهام یا عدم قطعیت مربوط به احتمالات نیست بلکه نوعی عدم قطعیت است که در اثر ناتوانی در مشخص‌نمودن درستی کامل عبارات و مفاهیم ایجاد شده است. در هنگام ساختن آنتولوژی چه به روش دستی و چه به روش خودکار، عدم قطعیتی به مفاهیم و روابط مدل‌شده نسبت داده می‌شود. هر متخصص بنا به اطلاعات و دانش خود مفاهیم و روابطی را در آنتولوژی در نظر می‌گیرد که این مفاهیم در ساختار ایجادشده دارای قطعیت و درستی کاملی نیستند. در این حالت متخصص مقدار عدم قطعیت مفاهیم را با توجه به دانش و تخصص خود تعیین می‌کند. همچنین ممکن است آنتولوژی‌ها به صورت خودکار از روی متون و مستندات ایجاد شوند. در این صورت ابزارهای سازنده آنتولوژی مقدار عدم قطعیت مفاهیم و روابط را در آنتولوژی ساخته‌شده تعیین می‌کنند [۸]. در حقیقت ماهیت عدم قطعیتی که در مفاهیم و روابط میان آنتولوژی‌ها وجود دارد با ماهیت عدم قطعیت فازی و احتمالی متفاوت و مشابه با عدم قطعیت سیستم‌های خبره [۳۲] است. در این سیستم‌ها عدم قطعیت اطلاعات بر اساس دانش و تجربه‌های متخصص تعیین می‌شود و ناشی از ناتوانی در تعریف دقیق مفاهیم است. به همین جهت با توجه به مطالب ذکرشده، در این مقاله از نظریه عدم قطعیت موجود در سیستم‌های خبره در استدلال توزیع‌شده غیر قطعی استفاده شده است. به همین جهت مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در ساختار مفاهیم و روابط درون آنتولوژی به کمک نظریه قطعیت مناسب‌تر از دو مدل احتمالی و فازی است.

در مدل و ساختار توزیع‌شده فرض‌شده در این تحقیق، از چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده برای توصیف چندین آنتولوژی ناهمگن در شبکه‌ای نظیر به نظیر از آنتولوژی‌ها استفاده شده که به کمک نگاشت‌های میانشان با یکدیگر مرتبط هستند. همچنین عدم قطعیت هم در مفاهیم

1. Resolution
2. Probability
3. Possibility
4. Bayesian Networks
5. Multi-Entity Bayesian Networks
6. Satisfiability
7. Consistency

Archive of SID

www.SID.ir

درونی آنتولوژی‌ها و هم در نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها وجود دارد و از مجموعه این عدم قطعیت‌ها برای استدلال در سیستم توزیع‌شده غیر قطعی استفاده می‌شود. عدم قطعیت مفاهیم درونی آنتولوژی‌ها توسط متخصص و عدم قطعیت نگاشت میان آنتولوژی‌ها توسط سیستم تولیدکننده نگاشت مشخص می‌شود. در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها با به کار گرفتن عدم قطعیت در استدلال توزیع‌شده، نتایج پیاده‌سازی‌ها نیز نشان می‌دهد کارایی و کیفیت نگاشت‌های باقی‌مانده و دقت سیستم نسبت به سیستم DRAGO افزایش یافته و نتایج دقیق‌تر و واقعی‌تری به دست می‌آورد. به همین جهت کاربرد این روش در دنیای واقعی با حقایق غیر قطعی بهتر از روش قطعی DRAGO است و در مواردی که نیاز است حقایق و روابط درست‌تری را به دست آورد و کارایی سیستم مهم است استفاده از این روش بهتر است.

۳- روش پیشنهادی در ساختار توزیع‌شده غیر قطعی

استدلال توزیع‌شده در ساختار وب معنایی امری مهم جهت کشف مفاهیم و روابط پنهان به کمک نگاشت‌ها و ارتباطات میان آنتولوژی‌ها و اصول منطقی داخلی آنها است. استدلال محلی آنتولوژی‌ها که در حقیقت استدلالی ساده در منطق توصیفی است، به صورت جداگانه در هر آنتولوژی صورت می‌پذیرد. با این وجود پاره‌ای از اصول و حقایق ضمنی موجود در آنتولوژی ممکن است به صورت کشف‌نشده باقی بمانند و تنها به کمک اصول و حقایق آنتولوژی‌های دیگر و نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها قابل کشف باشند و به تنهایی توسط استدلال‌گر محلی به دست نیایند.

در این تحقیق با توجه به این که در یک دامنه دانش آنتولوژی‌های ناهمگنی موجود هستند از چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده (DDL) برای مدل‌سازی آنتولوژی‌ها و روابط میان آنها بهره گرفته شده است. با توجه به وجود عدم قطعیت در مفاهیم و روابط موجود در آنتولوژی‌ها، در این تحقیق چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده توسعه یافته و استدلال توزیع‌شده میان آنتولوژی‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت انجام می‌شود. برای این منظور به کمک نظریه عدم قطعیت، ابتدا عدم قطعیتی به مفاهیم درونی آنتولوژی‌ها نسبت داده شده و میزان قطعیت روابط داخلی آنتولوژی‌ها و قوانین ارتباطی میان آنتولوژی‌ها محاسبه می‌شود. سپس به کمک مقادیر عدم قطعیت محاسبه‌شده استدلال توزیع‌شده غیر قطعی انجام می‌شود. به این ترتیب به کمک چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده و مدل قطعیت ذکرشده، استدلال توزیع‌شده غیر قطعی در سیستم صورت می‌پذیرد. در ادامه ابتدا ساختار سیستم توزیع‌شده تشریح می‌شود، سپس با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مفاهیم، روابط مورد نیاز برای استدلال توزیع‌شده غیر قطعی استخراج شده و الگوریتم استدلال توزیع‌شده غیر قطعی بیان می‌شود. پس از آن کاربرد این الگوریتم در پالایش نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها توضیح داده خواهد شد.

۳-۱ استدلال توزیع‌شده غیر قطعی

در چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده (DDL) هر آنتولوژی با پایگاه دانش $K_i = (T_i, A_i)$ نمایش داده می‌شود که شامل دو مؤلفه TBox و ABox است. مؤلفه TBox شامل مفاهیم موجود در دامنه دانش و روابط میان این مفاهیم و ABox شامل نمونه‌های متناظر با این مفاهیم است. پایگاه دانش توزیع‌شده نیز شامل سه مؤلفه به صورت $K_D = (K, B, C)$ است که در آن $K = \{K_i = (T_i, A_i)\}_{i \in I}$ مجموعه‌ای از پایگاه‌های دانش محلی، $B = \{B_{ij}\}_{i \neq j \in I}$ مجموعه‌ای از قوانین ارتباطی میان مفاهیم آنتولوژی‌ها و $C = \{C_{ij}\}_{i \neq j \in I}$ مجموعه‌ای از تناظرها میان نمونه‌های آنتولوژی‌های مختلف است. در سیستم توزیع‌شده فرض‌شده در این تحقیق تنها قوانین ارتباطی میان مفاهیم در نظر گرفته شده و تناظرهای میان نمونه‌ها در مدل‌سازی در نظر گرفته نشده است. با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از پایگاه‌های دانش $\{K_i\}_{i \in I}$، قانون ارتباطی از آنتولوژی i به آنتولوژی j به دو صورت زیر تعریف می‌شود

$$i : X \xrightarrow{\sqsubseteq} j : Y \text{ , into-bridge rule} \quad (۱)$$

$$i : X \xrightarrow{\sqsupseteq} j : Y \text{ , onto-bridge rule} \quad (۲)$$

روابط (۱) و (۲) به ترتیب دو قانون ارتباطی into و onto را بیان می‌کنند و در آنها X و Y مفاهیمی در آنتولوژی‌های i و j هستند. قانون اول بیان‌گر این است که مفهوم Y در آنتولوژی j از مفهوم X در آنتولوژی i کلی‌تر است و مفهوم X را شامل می‌شود و در قانون دوم مفهوم X در آنتولوژی i کلی‌تر از مفهوم Y در آنتولوژی j است.

در ساختار توزیع‌شده غیر قطعی فرض‌شده در این تحقیق تعدادی آنتولوژی و نگاشت‌های میان آنها در دسترس است. علاوه بر آن اطلاعات مقدار قطعیت مفاهیم نیز در دسترس است و هدف این است که به کمک این اطلاعات محدود، بتوان میزان قطعیت روابط موجود در استدلال توزیع‌شده و اصول منطقی درون آنتولوژی را به دست آورد. برای این منظور به کمک مدل قطعیت توسعه‌یافته [۳۲]، قطعیت اصول و روابط استدلال‌شده مدل‌سازی و محاسبه می‌شوند. در نظریه عدم قطعیت و مدل قطعیت توسعه‌یافته که در سیستم‌های خبره به کار می‌رود، اگر یک رابطه استلزام منطقی[1] به صورت $A \rightarrow B$ در نظر گرفته شود، با داشتن قطعیت A و قطعیت رابطه استلزام، طبق این نظریه، میزان قطعیت نتیجه استلزام یعنی B از (۳) محاسبه خواهد شد

$$A \rightarrow B \text{ , } cf_B = cf_A \times cf_{A \rightarrow B} \quad (۳)$$

که در آن cf_A[2] ضریب قطعیت مفهوم A، cf_B ضریب قطعیت مفهوم B و $cf_{A \rightarrow B}$ ضریب قطعیت رابطه استلزام منطقی است. از (۳) ضریب قطعیت رابطه استلزام که بیان‌کننده میزان قطعیت آن است را می‌توان به صورت زیر به دست آورد

$$cf_{A \rightarrow B} = \frac{cf_B}{cf_A} \quad (۴)$$

انواع روابطی که در منطق توصیفی توزیع‌شده میان مفاهیم آنتولوژی‌ها در نظر گرفته می‌شوند، روابط شمول[3] و هم‌ارزی[4] هستند که در این تحقیق نیز مقدار قطعیت این روابط محاسبه شده است. رابطه هم‌ارزی به صورت اجتماع دو رابطه شمول قابل بیان است، در این صورت محاسبه قطعیت رابطه شمول برای محاسبه قطعیت روابط شمول و هم‌ارزی کافی است. رابطه شمول قابل بیان با یک رابطه استلزام است و مفهوم آن در منطق متناظر با رابطه استلزام منطقی است، به همین جهت اگر رابطه شمولی میان مفهوم‌های A و B در آنتولوژی i برقرار باشد به کمک این تناظر، مقدار قطعیت رابطه شمول میان مفهوم‌های A و B یعنی $cf_{A_i B_i}$ از (۵) به دست می‌آید

$$i : A \sqsubseteq B \text{ , } cf_{A_i B_i} = \frac{cf_{B_i}}{cf_{A_i}} \quad (۵)$$

1. Implication
2. Certainty Factor
3. Subsumption
4. Equivalence

Archive of SID

www.SID.ir

در (۵) از تناظر مفهومی میان رابطه شمول و استلزام منطقی و نیز از (۴) استفاده شده است. در تناظر مذکور مفهوم B متناظر با نتیجه استلزام و مفهوم A متناظر با مقدم و دلیل استلزام در نظر گرفته شده‌اند. برای محاسبه قطعیت در استدلال توزیع‌شده، علاوه بر قطعیت اصول داخلی آنتولوژی‌ها، قطعیت قوانین ارتباطی به کار رفته در عمل استدلال نیز باید در دسترس باشد. به کمک (۴) قطعیت دو قانون ارتباطی into و onto به صورت زیر خواهد بود

$$i:A \xrightarrow{\sqsupseteq} j:G \text{ , onto-bridge rule , } cf_{G_jA_i}=\frac{cf_{A_i}}{cf_{G_j}} \qquad (۶)$$

$$i:B \xrightarrow{\sqsubseteq} j:H \text{ , into-bridge rule , } cf_{B_iH_j}=\frac{cf_{H_j}}{cf_{B_i}} \qquad (۷)$$

رابطه (۶) قانون ارتباطی onto است که رابطه شمول میان مفهوم A در آنتولوژی i و مفهوم G در آنتولوژی j را بیان می‌کند. به کمک (۵) قطعیت این قانون ارتباطی با توجه به رابطه شمول آن، برابر با حاصل تقسیم مقدار قطعیت مفهوم A در آنتولوژی i بر مقدار قطعیت مفهوم G در آنتولوژی j است. همچنین (۷) رابطه شمول میان مفهوم H در آنتولوژی j و مفهوم B در آنتولوژی i را در قالب یک قانون ارتباطی into بیان می‌کند. مقدار قطعیت این قانون ارتباطی نیز که رابطه شمولی میان مفهوم‌های دو آنتولوژی مختلف است به کمک (۵) به دست می‌آید.

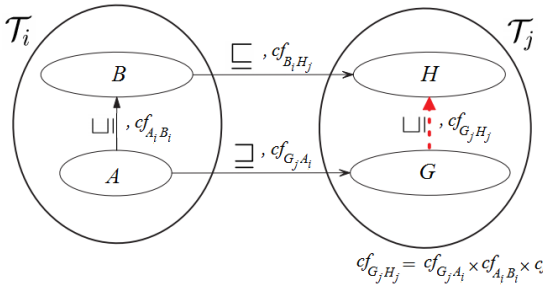
در صورتی که دو رابطه شمول به صورت $A\sqsubseteq B$ و $B\sqsubseteq C$ میان مفهوم‌های A، B و C در آنتولوژی برقرار باشد، با اعمال خاصیت تعدی میان آنها رابطه شمول $A\sqsubseteq C$ به دست خواهد آمد که قطعیت آن برابر با حاصل‌ضرب قطعیت روابط شمول به کار رفته است

$$\left.\begin{array}{l} A\sqsubseteq B \text{ , } cf_{AB}=\dfrac{cf_B}{cf_A} \\ B\sqsubseteq C \text{ , } cf_{BC}=\dfrac{cf_C}{cf_B} \end{array}\right\} \qquad (۸)$$
$$\Rightarrow A\sqsubseteq C \text{ , } cf_{AC}=\frac{cf_C}{cf_A}=cf_{AB}\times cf_{BC}$$

در (۸) نشان داده شده که قطعیت رابطه شمولی که از اعمال خاصیت تعدی میان چند رابطه شمول به دست آمده برابر با حاصل‌ضرب قطعیت روابط به کار رفته است. به کمک رابطه‌های بیان‌شده، می‌توان قطعیت یک استدلال توزیع‌شده را که به کمک قوانین ارتباطی و رابطه شمول درون آنتولوژی‌ها انجام می‌شود، محاسبه نمود. این عمل به کمک مقادیر قطعیت اصول منطقی و قوانین ارتباطی به کار رفته در استدلال توزیع‌شده که در (۵) تا (۷) مشخص شده‌اند به صورت زیر انجام می‌شود

$$\left.\begin{array}{l} i:A \xrightarrow{\sqsupseteq} j:G \text{ , } cf_{G_jA_i}=\dfrac{cf_{A_i}}{cf_{G_j}} \\ i:A\sqsubseteq B \text{ , } cf_{A_iB_i}=\dfrac{cf_{B_i}}{cf_{A_i}} \\ i:B \xrightarrow{\sqsubseteq} j:H \text{ , } cf_{B_iH_j}=\dfrac{cf_{H_j}}{cf_{B_i}} \end{array}\right\} \qquad (۹)$$
$$\Rightarrow j:G\sqsubseteq H \text{ , } cf_{G_jH_j}=cf_{G_jA_i}\times cf_{A_iB_i}\times cf_{B_iH_j}$$

در (۹) رابطه شمول میان مفهوم‌های G و H به کمک اعمال قانون تعدی میان رابطه‌های شمول موجود در (۵) تا (۷) به دست می‌آید. به این ترتیب برای روابط جدید به دست آمده در استدلال توزیع‌شده که در این قسمت توضیح داده شد، می‌توان مقدار قطعیت روابط به کار رفته در استدلال را در هم ضرب نموده و میزان قطعیت رابطه استدلال‌شده نهایی را به دست آورد.



شکل ۱: استدلال توزیع‌شده غیر قطعی میان آنتولوژی‌ها.

شکل ۱ استدلال توزیع‌شده غیر قطعی میان مفاهیم موجود در TBox دو آنتولوژی i و j را نشان می‌دهد. در این استدلال به کمک قانون‌های ارتباطی موجود، رابطه شمول میان مفهوم‌های A و B درون آنتولوژی i در سیستم توزیع‌شده انتشار یافته، به آنتولوژی j رسیده است و رابطه شمول میان مفاهیم G و H را در آن مشخص کرده است. مقدار قطعیت هر یک از رابطه‌های شمول میان مفاهیم G و A، A و B، B و H که در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند، به کمک میزان قطعیت مفهوم‌های آنها از (۵) محاسبه شده و در نهایت قطعیت رابطه شمول میان مفهوم‌های G و H در آنتولوژی j که به کمک استدلال توزیع‌شده به دست آورده شده از (۹) محاسبه می‌شود.

در حالت تعمیم‌یافته رابطه استدلال توزیع‌شده حالت کلی (۹) است که در آن مجموعه‌ای از قوانین ارتباطی میان مفهوم‌های دو آنتولوژی i و j وجود دارد. این رابطه به صورت زیر است

$$\left.\begin{array}{l} i:A \xrightarrow{\sqsupseteq} j:G \text{ , } cf_{G_jA_i} \\ i:A\sqsubseteq \coprod_{k=1}^{n} B_K \text{ , } cf_{A_i(\coprod_{k=1}^{n} B_K)_i} \\ i:B_k \xrightarrow{\sqsubseteq} j:H_k \text{ , } cf_{B_{ki}H_{kj}} \text{ for } 1\le k\le n \text{ , } n\ge 0 \end{array}\right\} \qquad (۱۰)$$
$$\Rightarrow j:G\sqsubseteq \coprod_{k=1}^{n} H_K \text{ , } cf_{G_j(\coprod_{k=1}^{n} H_K)_j}$$

برای محاسبه مقدار قطعیت استدلال توزیع‌شده تعمیم‌یافته، لازم است (۱۰) برای یک B_k و H_k به صورت زیر نوشته شود

$$\left.\begin{array}{l} i:A \xrightarrow{\sqsupseteq} j:G \text{ , } cf_{G_jA_i} \\ i:A\sqsubseteq B_K \text{ , } cf_{A_iB_{ki}} \\ i:B_k \xrightarrow{\sqsubseteq} j:H_k \text{ , } cf_{B_{ki}H_{kj}} \end{array}\right\} \qquad (۱۱)$$
$$\Rightarrow j:G\sqsubseteq H_K \text{ , } cf_{G_jH_{kj}}=cf_{G_jA_i}\times cf_{A_iB_{ki}}\times cf_{B_{ki}H_{kj}}$$

برای محاسبه قطعیت استدلال توزیع‌شده تعمیم‌یافته از (۱۱) استفاده شده و مقدار قطعیت استدلال موجود در (۱۰) که اجتماعی از رابطه‌های شمول (۱۱) به ازای kهای مختلف است محاسبه می‌شود. برای این منظور باید مقدار قطعیت اجتماع رابطه‌های شمول محاسبه شود. قطعیت اجتماعی از رابطه‌های شمول برابر با بیشینه قطعیت رابطه‌ها است. به عنوان مثال

$$\left.\begin{array}{l} A\sqsubseteq B \text{ , } cf_{AB}=\dfrac{cf_B}{cf_A} \\ A\sqsubseteq C \text{ , } cf_{AC}=\dfrac{cf_C}{cf_A} \end{array}\right\} \qquad (۱۲)$$
$$\Rightarrow A\sqsubseteq (B\cup C) \text{ , } cf=\max(cf_{AB}\times cf_{AC})$$

Archive of SID
www.SID.ir

Uncertain Distributed Reasoning (UDR) for Ontology j :
begin
for all onto-bridge rules like $i:X \xrightarrow{\sqsupseteq} j:Y$, $cf_{Y_jX_i}$
for all peers i which ontology j has trust value 'min_trust_value' to them
if peer i has subsumption axioms in its TBox$_i$ so that have X as their subsumee like $i:X \sqsubseteq Z$, $cf_{X_iZ_i}$
then get the subsumer Z in TBox$_i$ and all into-bridge rules like $i:Z \xrightarrow{\sqsubseteq} j:W$, $cf_{Z_iW_j}$, $W \neq Y$
if the axiom $j:Y \sqsubseteq W$ doesn't exist add it to TBox$_j$
set $v = cf_{Y_jX_i} \times (cf_{X_iZ_i} \times T_{ji}) \times cf_{Z_iW_j}$
set $cf_{Y_jW_j} = \max(v, cf_{Y_jW_j})$
end

شکل ۲: الگوریتم استدلال توزیع‌شده غیر قطعی.

رابطه (۱۲) در منطق قابل اثبات است. به این ترتیب برای هر رابطه شمولی که اجتماع تعدادی رابطه شمول است، مقدار قطعیت برابر خواهد بود با بیشینه قطعیت رابطه‌های شمولی که در اجتماع حضور دارند. در این صورت مقدار قطعیت رابطه منطقی استدلال‌شده در (۱۰) به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\begin{pmatrix} j:G \sqsubseteq H_1 \ , \ cf_{G_jH_{1j}} \\ j:G \sqsubseteq H_2 \ , \ cf_{G_jH_{2j}} \\ \vdots \\ j:G \sqsubseteq H_n \ , \ cf_{G_jH_{nj}} \end{pmatrix} \qquad (۱۳)$$
$$j:G \sqsubseteq \bigsqcup_{k=1}^{n} H_k \ , \ cf_{G_jH_j} = \max(cf_{G_jH_{Kj}})$$

رابطه (۱۳) نشان می‌دهد که مقدار قطعیت رابطه حاصل از استدلال توزیع‌شده تعمیم‌یافته برابر بیشینه قطعیت رابطه‌های شمول میان مفهوم G و مفاهیم H_k است. به این ترتیب همان طور که در رابطه‌های فوق ذکر شد روش ارائه‌شده، استدلال توزیع‌شده غیر قطعی انجام داده و قطعیت رابطه‌های استدلال‌شده را در حالت‌های معمولی و تعمیم‌یافته به دست می‌آورد.

همان طور که گفته شد به منظور کاربرد روش ارائه‌شده الگوریتمی برای استدلال توزیع‌شده غیر قطعی طراحی شده که در آن علاوه بر در نظر گرفتن مقادیر قطعیت در سیستمی از آنتولوژی‌های محلی، اعتماد میان عامل‌های اداره‌کننده آنتولوژی‌ها که تأثیر بسزایی در نتیجه استدلال دارد نیز در نظر گرفته می‌شود. اعتماد مذکور توسط روش‌های محاسبه اعتماد میان گروهی از عامل‌های توزیع‌شده محاسبه شده [۳۳] و به صورت ورودی در سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ این الگوریتم برای استدلال توزیع‌شده غیر قطعی (UDR)[1] میان آنتولوژی‌ها ارائه شده که در سیستم توزیع‌شده توسط هر عامل به صورت مجزا و با در نظر گرفتن مقدار قطعیت مفاهیم آنتولوژی و اعتماد میان عامل‌های مرتبط با آنتولوژی‌ها اجرا می‌شود. در این صورت با اجرای این الگوریتم رابطه‌های شمول غیر قطعی ضمنی و پنهان در ساختار توزیع‌شده مشخص می‌شوند.

در این الگوریتم عامل مربوط به آنتولوژی j ، قانون‌های ارتباطی onto را در نظر می‌گیرد. در این قوانین یکی از مفاهیم آنتولوژی j همانند Y توسط مفهوم X در آنتولوژی دیگر i شامل می‌شود. در صورتی که عامل مربوط به آنتولوژی j میزان اعتماد مناسبی به عامل مربوط به آنتولوژی i داشته باشد و در آنتولوژی i رابطه شمول میان مفهوم X با مفاهیم دیگری مانند Z برقرار باشد، اگر مفهوم Z دارای قوانین ارتباطی into با مفاهیم دیگری همانند W از آنتولوژی j (که در آن $W \neq Y$ است) باشد، در این صورت رابطه شمول نهفته‌ای میان دو مفهوم Y و W در آنتولوژی j وجود داشته که به صورت ضمنی بوده و به کمک استدلال توزیع‌شده که در قسمت قبل ارائه شد به دست می‌آید. مقدار قطعیت رابطه به دست آمده به کمک (۹) و با در نظر گرفتن اعتماد میان عامل‌های مربوط به آنتولوژی‌ها محاسبه می‌شود. به این ترتیب به کمک این الگوریتم می‌توان میان آنتولوژی‌های مختلف دامنه‌ای از دانش، استدلال غیر متمرکز و توزیع‌شده انجام داد و حقایق و روابط نهفته را به همراه عدم قطعیتشان محاسبه نمود. کاربرد این الگوریتم در بسیاری از زمینه‌های وب معنایی همانند تطابق آنتولوژی‌ها و یادگیری آنها نتایج واقعی‌تر و درست‌تری نسبت به الگوریتم استدلال توزیع‌شده قطعی به دست می‌آورد. در شرایطی که استدلال متمرکز و قطعی نمی‌تواند تمام اصول و حقایق نهفته و همچنین میزان قطعیت آنها را تعیین کند، این روش و الگوریتم با کشف روابط و تعیین قطعیت آنها نتایج کاربردی امیدبخشی دارد.

این الگوریتم پایان‌پذیر است و در نهایت پس از بررسی تمام قوانین ارتباطی onto و اصول مرتبط با آنها روابط نهفته را مشخص می‌کند. همچنین صحت و درستی این الگوریتم برقرار است و روابط شمول را طبق چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده به درستی استخراج می‌کند. کامل‌بودن این الگوریتم نیز تأمین شده است زیرا با بررسی همه قوانین ارتباطی onto و رابطه‌های شمول مرتبط با این قوانین، تمام روابط شمول ضمنی و نهفته را پیدا می‌کند. در بخش بعد کاربرد این روش در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌های یک دامنه از دانش توضیح داده خواهد شد.

۳-۲ پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها

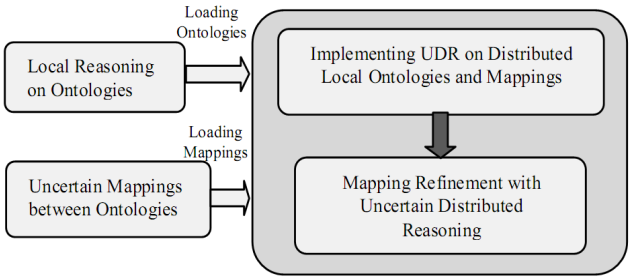
نگاشت میان آنتولوژی‌ها در سیستم‌های توزیع‌شده‌ای که دو عامل یا سرویس از آنتولوژی‌های مختلفی در یک دامنه دانش استفاده می‌کنند، اهمیت بسزایی در به دست آوردن تعامل مناسب میان آنها دارد. بهینه‌سازی نگاشت‌ها به منظور بهبود عملکرد و کارایی بهتر سیستم توزیع‌شده ضروری است و استفاده از نگاشت‌های خطادار و زاید، سبب پایین‌آمدن دقت و درستی نتایج و کاهش کارایی سیستم می‌شود. به همین جهت به کمک استدلال توزیع‌شده غیر قطعی و الگوریتم UDR، با پردازش نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها می‌توان نگاشت‌های زاید را حذف نمود. این امر به این دلیل امکان‌پذیر است که نگاشت‌های ایجادشده توسط سیستم‌های تولید نگاشت، دارای قطعیت و درستی کاملی نیستند و مقدار قطعیتی بین صفر و یک دارند که نشان‌دهنده میزان درستی و قطعیت رابطه نگاشت است. به کمک روش ارائه‌شده و الگوریتم UDR، سیستمی برای پالایش نگاشت‌های اضافه در این ساختار توزیع‌شده طراحی شده که در شکل ۳ بخش‌های مختلف آن نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده پالایش نگاشت‌ها از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول ورودی‌های سیستم شامل آنتولوژی‌ها و نگاشت‌های میان آنها در سیستم بارگذاری شده و در هر یک از آنتولوژی‌ها استدلال محلی انجام می‌شود تا ناسازگاری‌های احتمالی مشخص شوند. نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها همراه با مقدار قطعیتشان به کمک سیستم‌های تولید نگاشت به دست می‌آیند. در مرحله دوم الگوریتم UDR اجرا شده و به کمک آن روابط شمول ضمنی به همراه مقدار

1. Uncertain Distributed Reasoning

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: معماری سیستم پالایش نگاشت‌ها به کمک استدلال توزیع‌شده غیر قطعی.

قطعیتشان مشخص می‌شود و در مرحله آخر از آنتولوژی‌ها و نگاشت‌های میان آنها و همچنین قوانین استدلال‌شده در مرحله پیش استفاده شده و نگاشت‌های زاید به کمک الگوریتم ارائه‌شده برای پالایش نگاشت تشخیص داده می‌شوند. تشخیص نگاشت‌های اضافه در یک ساختار توزیع‌شده به این صورت امکان‌پذیر است که بررسی شود آیا این نگاشت به کمک نگاشت‌های دیگر و روابط شمول درون آنتولوژی‌ها قابل استدلال است یا خیر. تمام نگاشت‌هایی که توسط نگاشت‌های دیگر به دست آورده می‌شوند لزوماً قابل حذف نخواهند بود و برای این کار لازم است تصمیم‌گیری شود. این تصمیم‌گیری به کمک میزان قطعیت نگاشت‌ها به عنوان معیار صورت می‌گیرد. الگوریتم پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها و شرایط حذف آنها در شکل ۴ آمده است.

الگوریتم ارائه‌شده برای پالایش نگاشت‌های زاید در شکل ۴ برای هر قانون ارتباطی بررسی می‌کند که آیا به کمک قوانین ارتباطی دیگر و اصول منطقی درون آنتولوژی‌ها می‌تواند استدلال شود یا خیر؟ در صورتی که قطعیت قانون ارتباطی مورد نظر از قطعیت تمام روابط دیگری که این قانون ارتباطی به کمک آنها استدلال می‌شود کمتر باشد، قانون ارتباطی مورد نظر حذف خواهد شد. این امر به این دلیل است که مقدار قطعیت مجموعه‌ای از روابطی که آن قانون ارتباطی را استدلال می‌کنند از قطعیت این قانون ارتباطی بیشتر است و حذف این قانون ارتباطی درستی و قطعیت مجموعه نگاشت‌های سیستم را کاهش نمی‌دهد. در این صورت درستی و صحت کل سیستم کاهش نمی‌یابد زیرا قانون ارتباطی حذف‌شده به کمک روابط دیگری که قطعیت بالاتری دارند قابل استدلال شدن است. در حقیقت وجود نگاشت‌های زاید از دقت و سرعت پاسخ سیستم به درخواست‌های مختلف می‌کاهد. به این ترتیب در سیستم توزیع‌شده‌ای از آنتولوژی‌ها به کمک الگوریتم فوق نگاشت‌های میانشان را می‌توان پالایش نموده و دقت، درستی و کارایی سیستم توزیع‌شده را بهبود بخشید.

٤- پیاده‌سازی و ارزیابی

در این بخش پیاده‌سازی و ارزیابی پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها در آنتولوژی‌های سیستم‌های کنفرانسی بررسی شده است. یکی از کاربردهای روش استدلال توزیع‌شده غیر قطعی و الگوریتم UDR، بهینه‌سازی و حذف نگاشت‌های زاید میان آنتولوژی‌های ناهمگن در یک دامنه دانش است که این امر به کمک روش ارائه‌شده و الگوریتم پالایش نگاشت محقق می‌شود.

در پیاده‌سازی از مجموعه داده‌ای آنتولوژی‌های استاندارد سیستم‌های کنفرانسی که در مسابقات OAEI[1] به کار می‌رود استفاده شده است. نگاشت میان مجموعه آنتولوژی‌های سیستم‌های کنفرانسی که در کاربرد مورد نظر از آنها استفاده شده است به کمک سیستم تولید نگاشت

```
Mapping Refinement ( O_1,…,O_n , Bridge Rules)
begin
  B = Bridge Rules;
  for each bridge rule b∈ B
    if b could be entailed with B−{b} & subsumption axioms of
    ontologies
      if cf_b < min cf (entailed relations)
        delete b ;
end
```

شکل ۴: الگوریتم پالایش نگاشت در سیستم توزیع‌شده غیر قطعی.

Alignment API به دست آمده است. این سیستم از جمله سیستم‌های معروف ایجاد تناظر و نگاشت است و در مسابقات OAEI به عنوان یکی از سیستم‌های ایجاد تناظر و نگاشت میان آنتولوژی‌ها معرفی شده است. پس از به دست آوردن نگاشت‌ها، الگوریتم UDR باید در ساختار توزیع‌شده میان آنتولوژی‌های ناهمگن موجود در دامنه دانش پیاده‌سازی شود. برای پیاده‌سازی از واسط برنامه کاربردی به نام OWL API[2] که بر اساس جاوا نوشته شده استفاده شده است. ورودی‌های برنامه تعدادی از آنتولوژی‌های سیستم‌های کنفرانس و نگاشت‌های ایجادشده میان آنها هستند. در Protege بر روی آنتولوژی‌ها استدلال محلی انجام شده و سپس برای استفاده در الگوریتم UDR به کمک OWL API بارگذاری شده‌اند. علاوه بر آن سلسله مراتب روابط شمول میان مفاهیم درون هر آنتولوژی نیز به صورت دستی توسط برنامه نوشته‌شده مشخص می‌شود.

برای ارزیابی تعدادی از آنتولوژی‌های سیستم کنفرانسی همانند Edas، Ekaw، Iasted، Sofsem و ConfTool در نظر گرفته شده‌اند که به ترتیب دارای تعداد ۱۰۴، ۷۴، ۱۴۰، ۶۰ و ۳۸ کلاس و مفهوم هستند. نگاشت میان این آنتولوژی‌ها نیز به کمک سیستم Alignment API مشخص می‌شود. برای پیاده‌سازی سیستم توزیع‌شده غیر قطعی، در یک مرحله سیستمی توزیع‌شده متشکل از ۳ عامل که آنتولوژی‌های Edas، Ekaw و Iasted را در اختیار دارند در نظر گرفته شده و در مرحله دیگر سیستم با ۵ عامل که همه آنتولوژی‌های فوق در آن حضور دارند در نظر گرفته می‌شود.

برای مقایسه نتایج روش غیر قطعی ارائه‌شده و روش قطعی DRAGO در فرایند پالایش نگاشت‌ها از پارامتر میزان درستی و دقت[3] استفاده می‌شود. این پارامتر به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\text{Precision} = \frac{c}{c+f} \qquad (۱۴)$$

که c تعداد نگاشت‌های زایدی که به درستی تشخیص داده می‌شوند و f تعداد نگاشت‌های غیر زایدی که سیستم آنها را به اشتباه اضافه تشخیص می‌دهد، هستند.

نتایج حاصل از پالایش نگاشت‌ها در سیستم غیر قطعی و سیستم قطعی DRAGO در دو حالت ۳ و ۵ آنتولوژی موجود در سیستم مطابق با جدول ۱ است.

تحلیل و بررسی نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد میزان درستی و دقت نگاشت‌های میان آنتولوژی‌ها در سیستمی که به قطعیت نگاشت‌ها در پالایش آنها اهمیت می‌دهد بیشتر است. علت این مسأله این است که سیستم قطعی نگاشت‌های مرجع بیشتری را به صورت اشتباه اضافه تشخیص می‌دهد و آنها را حذف می‌کند، در صورتی که در روش

1. Ontology Alignment Evaluation Initiative

2. OWL Application Programming Interface

3. Precision

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: مقایسه میزان دقت نگاشت‌های پالایش‌شده.

درستی نگاشت‌های حاصل از پالایش نگاشت‌های سیستم توزیع‌شده به روش قطعی (DRAGO)	درستی نگاشت‌های حاصل از پالایش نگاشت‌های سیستم توزیع‌شده به روش غیر قطعی (UDR)	تعداد عامل‌ها (آنتولوژی‌های) موجود در سیستم
٪۷۹٫۳	٪۸۷٫۲	۳
٪۷۴٫۷	٪۹۱٫۴	۵

جدول ۲: مقایسه میانگین قطعیت اصول منطقی استدلال‌شده.

میانگین قطعیت اصول منطقی استدلال‌شده با استفاده از نگاشت‌های پالایش‌شده در روش قطعی (DRAGO)	میانگین قطعیت اصول منطقی استدلال‌شده با استفاده از نگاشت‌های پالایش‌شده در روش غیر قطعی (UDR)	تعداد عامل‌ها (آنتولوژی‌های) موجود در سیستم
۰٫۴۸	۰٫۶۳	۳
۰٫۵۳	۰٫۶۷	۵

غیر قطعی به قطعیت این نگاشت‌ها در فرایند حذف اهمیت زیادی داده می‌شود و همین مسأله مانع حذف نگاشت‌های غیر اضافه می‌شود. با افزایش تعداد آنتولوژی‌ها در سیستم، تعداد نگاشت‌های میان آنها نیز بسیار زیاد شده و به این ترتیب در روش قطعی تعداد نگاشت‌های غیر اضافه‌ای که به اشتباه اضافه محسوب می‌شوند، بیشتر می‌شود. لذا دقت سیستم در حالت قطعی کمتر شده و تعداد بیشتری از نگاشت‌ها به صورت نادرست اضافه تشخیص داده می‌شوند و میزان دقت آن کاهش می‌یابد. در صورتی که سیستم غیر قطعی با تعداد آنتولوژی‌های بیشتر، نسبت تعداد نگاشت‌هایی که به درستی اضافه تشخیص می‌دهد بسیار بیشتر از تعداد نگاشت‌هایی است که به اشتباه اضافه تشخیص می‌دهد و به این ترتیب در مجموع دقت آن نسبت به سیستم کوچک‌تر افزایش می‌یابد. به این ترتیب با افزایش تعداد آنتولوژی‌های سیستم و در نتیجه زیادشدن تعداد نگاشت‌ها، پالایش نگاشت‌ها و تشخیص نگاشت‌های زاید به روش غیر قطعی دارای دقت بیشتری نسبت به سیستم کوچک‌تر است و به این ترتیب در سیستم‌های توزیع‌شده دارای عملکرد مناسبی است.

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم غیر قطعی ارائه‌شده در پالایش نگاشت‌ها از روش دیگری نیز استفاده شده که در آن نگاشت‌های حاصل از فرایند پالایش به کمک روش‌های غیر قطعی و قطعی، دوباره در سیستم توزیع‌شده اولیه که استدلال توزیع‌شده‌ای روی آنها اعمال نشده است به کار رفته و سپس استدلال توزیع‌شده غیر قطعی در آن انجام شده و میانگین قطعیت اصول جدید استدلال‌شده در سیستم محاسبه می‌شود. نتایج این ارزیابی در جدول ۲ آمده است.

همان طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود به طور میانگین قطعیت اصول استدلال‌شده با نگاشت‌هایی که به کمک روش غیر قطعی پالایش شده‌اند بیشتر است. این مسأله به این علت است که در پالایش نگاشت‌ها قطعیت آنها عامل مهمی است و نگاشت‌های با قطعیت بیشتر حذف نمی‌شوند. در صورتی که نگاشت‌های پالایش‌شده به روش UDR مجدداً در استدلال توزیع‌شده استفاده شود، این نگاشت‌های باقیمانده دارای قطعیت بالاتری هستند. به همین دلیل روابط استدلال‌شده حاصل نیز با توجه به (۱۱) دارای قطعیت و درستی بیشتری خواهند بود. در این صورت چنین سیستم توزیع‌شده‌ای دارای مفاهیم و اصول واقعی‌تری است و در کاربردهای بعدی از کارایی بالاتری نیز برخوردار خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد روشی برای استدلال توزیع‌شده میان چندین آنتولوژی ناهمگن با اطلاعات غیر قطعی ارائه شود. به کمک چارچوب منطق توصیفی توزیع‌شده و نظریه قطعیت، روابط نهفته و ضمنی آنتولوژی‌ها با میزان قطعیتی که رابطه محاسبه آن بیان شد، استدلال شدند. این مسأله سبب بهبود کیفیت و کارایی آنتولوژی‌ها در کاربردهایی همچون تطابق آنتولوژی‌ها، یادگیری آنها و ... می‌شود. نتایج حاصل از به کارگیری روش ارائه‌شده در پالایش نگاشت میان آنتولوژی‌ها نیز نشان داد در سیستم‌های توزیع‌شده‌ای که کیفیت نگاشت‌ها، کارایی و قطعیت در آنها مهم است استفاده از روش استدلال توزیع‌شده غیر قطعی نتایج صحیح‌تر و بهتری به دست می‌آورد زیرا با حذف نگاشت‌های تکراری و قطعیت کم، کارایی، دقت و صحت سیستم بالا می‌رود. با توجه به این که در روش ارائه‌شده تنها روابط شمول میان مفاهیم در نظر گرفته شده است، گسترش روش یا بیان‌نمودن روابط میان نقش‌ها و استدلال توزیع‌شده غیر قطعی در چنین ساختاری از اهداف آینده است. در صورتی که روابط میان نقش‌ها دارای محدودیت‌هایی باشد می‌توان از مسأله تصمیم‌ناپذیری جلوگیری نمود و ساختار استدلال توزیع‌شده غیر قطعی را گسترش داد. همچنین روابط منطقی که در این تحقیق استفاده شده محدود به رابطه شمول است و انواع دیگر روابط میان مفاهیم اعم از تضاد میان آنها در نظر گرفته نشده است. با در نظر گرفتن چنین روابطی میان مفاهیم می‌توان الگوریتم ارائه‌شده را کامل‌تر نموده و روابط مختلف میان مفاهیم را در نظر گرفت.

مراجع

[1] T. Berners - Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The semantic web," *Scientific American*, vol. 279, no. 5, pp. 28-37, May 2001.

[2] D. Fensel, J. Hendler, H. Lieberman, and W. Wahlster, "Ontologies come of age," in *Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential,* MIT Press, 2003.

[3] T. Lukasiewicz and U. Straccia, "Managing uncertainty and vagueness in description logics for the semantic web," *J. of Web Semantics*, vol. 6, no. 4, pp. 291-308, Nov. 2008.

[4] B. Liu, J. Li, and Y. Zhao, "A query-specific reasoning method for inconsistent and uncertain ontology," in *Proc. of the Int. MultiConf. of Engineers and Computer Scientists, IMECS*, vol. 1, pp. 53-58, Hong Kong, Mar. 2011.

[5] J. Zhao, "Advances in semantic computing," *in Advances in Semantic Computing,* pp. 1-22, 2010. Available http://www.tmrfindia.org/eseries/ebookV2.html

[6] F. Martin - Recuerda and D. Robertson, "Discovery and uncertainty in semantic web services," in *Proc. of Uncertainty Reasoning for the Semantic Web*, *URSW,* pp. 188-123, 2005.

[7] G. Stamou, J. V. Ossenbruggen, J. Z. Pan, and G. Schreiber, "Multimedia annotations on the semantic web," *IEEE Multimedia*, vol. 13, no. 1, pp. 86-90, 2006.

[8] P. Haase and J. Volker, "Ontology learning and reasoning-dealing with uncertainty and inconsistency," in *Proc. of the ISWC Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web, URSW,* pp. 45-55, Galway, Ireland, 2005.

Archive of SID

www.SID.ir

[9] A. Borgida and L. Serafini, "Distributed description logics: assimilating information from peer sources," *J. of Data Semantics*, vol. 1, pp. 153-184, 2003.
[10] A. Tamilin, *Distributed Ontological Reasoning: Theory, Algorithms, and Applications*, Ph.D. Dissertation, University of Trento, 2007.
[11] E. Sirin, B. Parsia, B. Grau, A. Kalyanpur, and Y. Katz, "Pellet: a practical OWL-DL reasoner," *J. of Web Semantics*, vol. 5, no. 2, pp. 51-53, 2007.
[12] V. Haarslev and R. Moller, "Racer: a core inference engine for the semantic web ontology language (OWL)," in *Proc. of the 2nd Int. Workshop on Evaluation of Ontology-Based Tools*, pp. 27-36, 2003.
[13] D. Tsarkov and I. Horrocks, "FaCT++ description logic reasoner," in *Proc. of International Joint Conf. on All Aspects of Automated Reasoning (IJCAR)*, vol. 4130, pp. 292-297, 2006.
[14] B. Motik and R. Studer, "KAON2 - a scalable reasoning tool for the semantic web," in *Proc. of 2nd European Semantic Web Conf., ESWC'05*, Greece, 2005.
[15] A. Kiryakov, D. Ognyanov, and D. Manov, "OWLIM-a pragmatic semantic repository for OWL," in *Proc. WISE 2005 Workshops* LNCS, vol. 3807, pp. 182-192, Springer, Heidelberg, 2005.
[16] J. Zhou, L. Ma, Q. Liu, L. Zhang, Y. Yu, and Y. Pan, "Minerva: a scalable OWL ontology storage and inference system," in *Proc. Asian Semantic Web Conf.*, LNCS, vol. 4185, pp. 429-443, Springer, Heidelberg, 2006.
[17] S. Bechhofer, I. Horrocks, and D. Turi, "The OWL instance store: system description," in *Proc. CADE Conf.*, LNCS, vol. 3632, pp. 177-181, Springer, Heidelberg, 2005.
[18] Q. Fang, Y. Zhao, G. Yang, and W. Zheng, "Scalable distributed ontology reasoning using DHT-based partitioning," in *Proc. Asian Semantic Web Conf., ASWC*, LNCS, vol. 5367, pp. 91-105, Springer, Heidelberg, 2008.
[19] O. Kutz, C. Luts, F. Wolter, and M. Zakharyaschev, "E-connections of description logics," in *Proc. of the 2003 Int. Workshop on Description Logics*, pp. 178-187, 2003.
[20] J. Bao, D. Caragea, and V. Honavar, "Modular ontologies - a formal investigation of semantics and expressivity," in *Proc. of 1st Asian Semantic Web Conf., ASWC*, LNCS, vol. 4185, pp. 615-631, Springer, Heidelberg, 2006.
[21] F. Baader and U. Sattler, "Tableau algorithms for description logics," in *Proc. of TABLEAUX*, vol. 1847, pp. 1-18, 2000.
[22] E. Oren, S. Kotoulas, G. Anadiotis, R. Siebes, A. T. Teije, and F. V. Harmelen, "MARVIN: distributed reasoning over large-scale semantic web data," *J. of Web Semantics*, vol. 7, no. 4, pp. 305-316, 2009.
[23] A. Schlicht and H. Stuckenschmidt, "Towards distributed ontology reasoning for the web," in *International Conf. on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, vol. 1, pp. 536-539, Dec. 2008.
[24] T. Lukasiewicz, *Probabilistic Description Logics for the Semantic Web*, Technical Report, Knowledge-Based Systems Group, Vienna, 2007.
[25] U. Straccia, "Towards a fuzzy description logic for the semantic web," in *Proc. of 2nd of European Semantic Web Conf.*, *ESW*C, 2005.
[26] G. Stoilos, G. Stamou, V. Tzouvaras, J. Pan, and I. Horrocks, "Fuzzy OWL: uncertainty and the semantic web," in *Proc. of the Int. Workshop of OWL: Experiences and Directions*, 2005.
[27] J. Heinsohn, "Probabilistic description logics," in *Proc. of UAI*, pp. 311-318, 1994.
[28] T. Lukasiewicz, "Fuzzy description logic programs under the answer set semantics for the semantic web," *in Proc. of 2nd Int. Conf. on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web, RuleML,* pp. 89-96, 2006.
[29] J. Pearl, *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1988.
[30] P. C. G. Costa and K. B. Laskey, "Pr-owl a framework for probabilistic ontologies," *in Proc. FOIS 2006*, pp. 237-249, 2006.
[31] Z. Ding, Y. Peng, and R. Pan, "BayesOWL: uncertainty modeling in semantic web ontologies," *Soft Computing in Ontologies and Semantic Web,* vol. 204, pp. 3-29, 2006.
[32] J. Durkin, *Expert Systems: Design and Development*, Macmillan, pp. 332-362, 1994.
[33] E. Mokhtari, *A Context-Aware Reputation-Based Trust Model for Multi-Agent Systems*, M.S. Thesis, Dept. Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 2009.

فروغ انوشا تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال ۱۳۸۶ در دانشگاه تهران گرایش نرم‌افزار و ۱۳۹۰ در دانشگاه اصفهان گرایش هوش مصنوعی به پایان رسانده است. وی از همان دوران کارشناسی به تحقیق و ارائه مقاله پرداخته و در حال حاضر به تدریس در دانشگاه و تحقیق در زمینه‌های مورد علاقه‌اش مشغول است. زمینه‌های تحقیقاتی وی شامل وب معنایی، تطابق آنتولوژی‌ها و استدلال در آنها، شبکه‌های کامپیوتری و امنیت در آنها است.

بهروز ترک لادانی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر (نرم‌افزار) به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۵ در دانشگاه اصفهان و ۱۳۷۷ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر به پایان رساند و سپس مدرک دکترای خود را در سال ۱۳۸۳ در رشته مهندسی کامپیوتر (سیستم‌های نرم‌افزاری) از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۸۴ به دانشگاه اصفهان پیوست و هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر و مدیر گروه مهندسی فناوری اطلاعات این دانشگاه است. ایشان همچنین عضو انجمن رمز ایران و نماینده این انجمن در دانشگاه اصفهان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه نام‌برده مشتمل بر توصیف و وارسی صوری امنیت، پروتکل‌های رمزنگاری، اعتماد محاسباتی و امنیت نرم‌افزار است.

محمدعلی نعمت‌بخش در سال ۱۳۶۱ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه فنی لوئیزیانا، امریکا، کارشناسی ارشد و دکتری در مهندسی برق و کامپیوتر از دانشگاه اریزونا، امریکا، به ترتیب در سال های ۱۳۶۳ و ۱۳۶۷ دریافت نمود. وی از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۷۱ در شرکت توشیبا امریکا در بخش تحقیق و توسعه فعالیت داشت. نام‌برده در سال ۱۳۷۱ به گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه اصفهان پیوست و هم اکنون عضو هیأت علمی این گروه می‌باشد. وی بیش از ۱۰۰ مقاله علمی، ۴ ثبت اختراع جهانی (پتنت) و کتاب "مبانی و طراحی پایگاه داده‌ها" را به چاپ رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی وی وب معنائی، پایگاه داده‌ها و فن اوری های تجارت الکترونیک می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir