نمایه‌سازی معنایی پنهان

رسول زوارقی[1]

چکیده

این مقاله به معرفی و توصیف روش نمایه‌سازی معنایی پنهان (ال. اس. آی)[2] می‌پردازد که یکی از روش‌های نوین نمایه‌سازی خودکار است. ابتدا در مقدمه‌ای کوتاه به نمایه‌سازی و چالش‌های آن اشاره می‌شود سپس در بخش دوم مدل‌های فضایی برداری که نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از گسترش‌های آن است، توصیف می‌شود. در بخش بعدی ضمن تشریح مفهوم نمایه‌سازی معنایی پنهان، کاربردها و موارد استفاده از آن بیان می‌گردد و سپس مبانی ریاضی آن که روش آماری تجزیه مقادیر منفرد[3] است با مثالی تشریح می‌شود. در بخش بعدی فرایند کار نمایه‌سازی معنایی پنهان همراه با مثال توضیح داده می‌شود و در نهایت طرح‌ها و برنامه‌هایی که هم اکنون در این زمینه اجرا می شوند معرفی و به بعضی پیشرفت‌های فناورانه مؤثر در بهبود عملکرد نمایه‌سازی معنایی پنهان اشاره می‌شود.

کلیدواژه‌ها

نمایه‌سازی معنایی، نمایه‌سازی پنهان، بازیابی اطلاعات، تجزیه مقادیر منفرد

مقدمه

امروزه نمایه‌سازی و به‌طورکلی حوزه بازیابی اطلاعات، به سبب تغییرات قابل‌توجه در محیط پیرامون خود متحول شده‌اند. می‌توان بعضی از این تغییرات را این‌گونه برشمرد: گسترش قابل‌توجه دامنه بازیابی اطلاعات با ظهور چندرسانه‌ای‌ها، اینترنت، و اطلاعات جهانی؛ ظهور پایگاه داده و بعضی نظریه‌های جدید در هوش مصنوعی، زبان‌شناسی و ریاضیات (۱۳؛ ۲۴؛ ۳۲)؛ رویکرد تحلیلی مباحث ریاضی و پیچیده به‌کار رفته در بازیابی اطلاعات؛ طراحی نظام‌های بازیابی اطلاعات همانند نظام‌های پایگاه

۱. کارشناس ارشد کتابداری و اطلاع‌رسانی rasoolzavaraqi@yahoo.com

2.LSI = Latent Semantic Indexing
3.SVD = Singular Value Decomposition

داده‌ای رابطه‌ای، و بروز امکانات جدید ناشی از فناوری‌های نوینی چون وب مانند پالایش اشتراکی[4] (که با عنوان نظام‌های توصیه هدف یا شخصی شناخته می‌شود).

علاوه بر چالش‌های فوق باید به این نکته اصلی توجه داشت که در بازیابی اطلاعات مفهوم نسبتاً مبهم و گنگی به نام ربط وجود دارد که به روش‌های پیچیده تشخیص نیت کاربر و ماهیت مدارک بستگی دارد. طبق گفته پاپادیمیتریو[5] و همکارانش نظریه‌های اندکی در این زمینه ارائه شده است (۳۸) که برای درک بیشتر این چالش بررسی متون کلاسیکی چون آثار ریجسبرگن و سالتون مفید خواهد بود (۴۰؛ ۴۲).

باید به یاد داشت که چالش‌های جدید، علاوه بر چالش‌های پیشین چون ذهنی‌بودن فرایند نمایه‌سازی‌ست که ناشی از نظری‌بودن این عمل است. اصلی‌ترین روش تعیین ذهنی‌بودن نمایه‌سازی، بررسی یکدستی آن هنگام تحلیل کار چند نمایه‌ساز از یک مدرک یا حتی یک نمایه‌ساز در زمان‌های مختلف است. همه این عوامل نشان‌دهنده پیچیدگی قابل‌توجه فرایند نمایه‌سازی‌ست که در مقاله اندرسون و پرز-کاربالو[6] به‌طور مفصل تشریح شده است (۲؛ ۳).

وجود این چالش‌ها موجب شد که پژوهشگران از دهه ۱۹۵۰ تاکنون به دنبال روش‌های نوین و کارآمد برای رویارویی با چالش‌ها باشند و از دهه ۱۹۷۰ تاکنون برای رفع این مسئله اهتمام بسیار داشته‌اند. همان‌طورکه پالگارین و گیل-لیو[7] در پژوهش خود نشان دادند که بیش از ۸۰۰ اثر پژوهشی طی سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۰ در مورد نمایه‌سازی خودکار، نیمه‌خودکار و رایانه‌ای نگاشته شده‌اند (۳۹).

با توجه به نکات فوق، نوعی توافق عمومی وجود دارد مبنی بر اینکه بازیابی سنتی اطلاعات نمی‌تواند جوابگوی این چالش‌ها باشد. نتایج بازیابی نظام‌های سنتی بازیابی اطلاعات به دو دلیل عمده ناکارا و غیردقیق بود. اول اینکه در این نوع نظام‌ها مفهوم واحدی را می‌توان به روش‌های مختلف توصیف کرد. عبارت‌های پرسشی کاربر ممکن است در مدرک مربوط وجود نداشته باشد. دوم اینکه بیشتر کلمات بیش از یک معنا دارند در نتیجه مطابقت واژگانی عبارت‌های پرسشی کاربر ممکن است به بازیابی مدارک نامربوط بینجامد (۱۷).

دانشمندان اصلی‌ترین علل محدودیت مدل‌ها و نظام‌های بازیابی اطلاعات را ابهام و گویانبودن[8] واژه‌ها، ناکارآمدی بازنمون مدارک مجموعه، و در سویی دیگر اغتشاش[9] و عدم صراحت[10] پرسش‌های کاربر می‌دانند. راه‌حل‌های گوناگونی برای این مسائل پیشنهاد شده است که بازیابی اطلاعات براساس هستی‌شناسی یا استفاده از بازنمون معنایی مدارک و پرسش‌ها از مهم‌ترین راه‌حل‌ها هستند (۸).

در این مقاله سعی می‌شود نمایه‌سازی معنایی پنهان که نوعی بازنمون معنایی مدارک و نوع گسترش یافته مدل‌های بازیابی برداری‌ست و از مباحث جبر خطی و ماتریس‌های ریاضی و فن تجزیه مقادیر منفرد استفاده می‌کند، معرفی و ابعاد مختلف استفاده از آن بیان شود.

مدل فضای برداری

از آنجا که نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از راهکارهایی بود که برای رفع مشکلات مدل فضای برداری به وجود آمد، در این بخش سعی می‌شود خلاصه‌ای از این مدل و مشکلات آن بیان شود.

مدل فضایی برداری یکی از چند روش تشخیص تشابه میان دو مدرک است که در سال ۱۹۷۵ به‌وسیله سالتون[11] گسترش یافت (۴۳) و چارچوبی تأثیرگذار و قدرتمند برای ذخیره، تحلیل و ساختن مدارک است. این مدل درابتدا به منظور بازیابی اطلاعات گسترش یافت و در نمایه‌سازی مدارک مبتنی بر فراوانی عبارت‌ها، به‌طور گسترده‌ای به‌کار رفت. سه مرحله این مدل عبارتند از نمایه‌سازی مدرک، وزن‌دهی عبارت، محاسبه ضریب[12] تشابه:

۱. نمایه‌سازی مدرک: هر مدرک یا (پرسش) به صورت یک بردار در فضایی با ابعاد بزرگ‌تر ترسیم می‌شود. تعداد عبارت‌های منحصربه‌فرد مجموعه مدرک محاسبه می‌شود. واژگان غیرمهم از بردار مدرک حذف می‌شوند. از یک سیاهه واژگان غیرمجاز که واژگان عمومی را در خود جای می‌دهد، برای حذف واژه‌های پرکاربرد استفاده می‌شود (که در کل ۴۰ تا ۵۰ درصد از کل واژگان مدرک حذف می‌شوند).

4.Collaborative Filtering
5.Papadimitriou
6.Anderson Perez Carballo
7.Pulgarin & Gill-Leiva
8.Expressionless
9.Confusion
10.Imprecision
11.Salton
12.Coefficicent

۲. وزن‌دهی عبارت: وزن‌دهی برای نشان دادن میزان اهمیت عبارت‌ها در بازنمون مدرک انجام می‌شود. پیش‌فرض اغلب روش‌های وزن‌دهی چون فراوانی معکوس مدرک[۱۳] این نکته است که اهمیت یک عبارت با افزایش میزان رخداد آن عبارت متناسب است. برای پیشگیری از بازیابی مدارک طولانی‌تر از شیوه هنجارسازی[۱۴] استفاده می‌شود (زیرا با توجه به نکته فوق، احتمال بازیابی مدارک طولانی بیشتر از احتمال بازیابی مدارک کوتاه‌تر خواهد بود).

۳. محاسبه ضریب تشابه: تشابه میان دو مدرک (یا میان یک پرسش و یک مدرک) با فاصله میان بردارها در فضایی با ابعاد بزرگ‌تر تعیین می‌شود. بدین صورت که همپوشانی واژه، نشان‌دهنده تشابه خواهد بود. شناخته‌شده‌ترین مقیاس تشابه، ضریب کسینوس است و تشابه میان دو مدرک را با کسینوس زاویه میان دو بردار نشان می‌دهند (۱۲).

در این مدل هنگام ورود یک پرسش توسط کاربر، آن پرسش مانند دیگر مدارک فرض می‌شود و به‌صورت یک بردار نشان داده می‌شود. نظام در فرایند بازیابی، موقعیت پرسش را نسبت به محل هر مدرک در فضای برداری مقایسه می‌کند و مدارک را با توجه به میزان تشابه با پرسش کاربر رتبه‌بندی می‌کند. پس به این ترتیب یا تعداد مدارکی را که بیشترین تشابه را با پرسش دارند بازیابی می‌کند یا همه مدارکی را که تا حدی از آستانه تشابه (که قبلاً معین شده است) بیشتر باشد، بازیابی می‌کند. اصلی‌ترین مزیت مدل فضای برداری، رتبه‌بندی کارآمد و دقیق مدارک مرتبط با توجه به میزان تشابه آنها با پرسش است، درصورتی‌که در روش‌های مبتنی بر مطابقت واژگانی یا هیچ طرحی برای رتبه‌بندی وجود ندارد یا اگر هم وجود داشته باشد فاقد امکان رتبه‌بندی موارد پیچیده هستند (۵). چنانکه ممکن است به واژه‌ای که در اول عبارت پرسش ظاهر شده است رتبه‌ای بالاتر اختصاص داده شود (۱۷).

کاربران در سیاهه مدارک بازیابی‌شده، همیشه مدارک با بیشترین میزان تشابه را مطالعه می‌کنند به این دلیل که از نظر معنایی بیشتر به پرسش مربوط هستند. با وجود این سنجش میزان تشابه میان بردارها، به دستورالعملی برای چگونگی وزن‌دهی هر عبارت نمایه نیاز دارد. روش‌های مختلفی برای این امر وجود دارد که توابع دودویی[۱۵]، فراوانی عبارت[۱۶]، و لگاریتمی[۱۷] بیشتر از بقیه شناخته شده‌اند (۱۷).

البته باید توجه داشت که استفاده از این مدل مشکلاتی را نیز دارد. اصلی‌ترین مشکل مدل‌های فضای برداری، عدم مطابقت واژگان است. مدل‌های فضای برداری، با عبارت های نامشابه مانند اقلام نامرتبط برخورد می‌کنند. برای مثال رایانه و لپ‌تاپ[۱۸] اگرچه عبارت‌های مرتبطی هستند اما مدل‌های فضای برداری از کشف چنین رابطه‌ای عاجز هستند. پس اگر میان پرسش و مدرک در مجموعه متون هیچ کلمه مشترکی وجود نداشته باشد حتی اگر بعضی مدارک با پرسش مرتبط باشند، مقدار تشابه عملاً صفر خواهد بود و در نتیجه هیچ مدرکی بازیابی نخواهد شد. دومین اشکال این مدل‌ها در مجموعه مدارک بزرگ[۱۹] پیش می‌آید که درصورت تشکیل ماتریس عبارت- مدرک، ماتریس حاصل بزرگ و پراکنده خواهد بود که فضای ذخیره زیادی را می‌طلبد و مدت زمان پردازش و محاسبه آن نیز طولانی می‌شود. برای رفع این مشکلات از یکی از شاخه‌های این مدل باعنوان نمایه‌سازی معنایی پنهان استفاده می‌شود که در سال‌های اخیر رواج یافته است (۲۰؛ ۱۶؛ ۱۷).

به‌طور کلی می‌توان گفت که بازیابی اطلاعات سنتی با دو مشکل قدیمی مترادف‌ها (مانند مدارک حذف شده مربوط به اتومبیل به هنگام پرسش درباره ماشین) و چندمعنایی‌ها (مثل بازیابی مدارک درباره اینترنت به هنگام پرسش درباره موج سواری) روبروست. در این مدل هیچ تفاوتی میان crane به معنای پرنده ماهی‌خوار و crane به معنای جرثقیل نیست. برای مقابله با این دو مشکل و سایر مشکلات بازیابی سنتی اطلاعات، سعی می‌شود مدارک (و پرسش‌ها) نه با استفاده از خود عبارت‌ها (همان‌طورکه در روش‌های برداری معمول است)، بلکه با استفاده از مفاهیم ضمنی (پنهان) آن عبارت‌ها، بازنمون شوند. این ساختار پنهان، نقشه‌ای ثابت میان عبارت‌ها و مفاهیم نیست بلکه به کل مدارک مجموعه و رابطه عبارت با کل آن بستگی دارد (۳۸).

نمایه‌سازی معنایی پنهان

نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از فنون نمایه‌سازی مفهومی‌ست که برای غلبه بر مشکلات ناشی از عدم مطابقت واژگان به‌وجود آمده است (۱۷). همان‌طور که گفته شد در

13.Inverse Document Frequency
14.Normalization
15.Binary
16.Term Frequency
17.Log
18.Laptop
19.Corpus

نظام‌های سنتی بازیابی، اطلاعات از مطابقت واژه به واژه عبارت‌های مدارک با پرسش کاربر بازیابی می‌شود، ولی شواهد ناکارآمدی این روش را نشان داده‌اند. همچنین از آنجا که معمولاً روش‌های متعددی برای بیان یک مفهوم وجود دارد (ترادف)[20] احتمال دارد که میان عبارت‌ها و واژگان پرسش کاربر با بازنمون واژگانی مدرک هیچ اشتراکی وجود نداشته باشد. علاوه بر آن بیشتر واژه‌ها چندین معنا دارند (چندمعنایی)[21] به‌طوری‌که نتیجه بازیابی با عبارت‌های پرسش کاربر، مدارک نامربوطی را دربرخواهد گرفت. رزاریو معتقد است روشی که کاربر را قادر به بازیابی اطلاعات براساس مفهوم یا معنای یک مدرک خواهد نمود و مشکلات ذکرشده را نیز برطرف می‌کند، نمایه‌سازی معنایی پنهان است (۴۱).

تعاریف مختلفی از نمایه‌سازی معنایی پنهان ارائه شده است. رزاریو آن را این‌گونه تعریف می‌کند: "نمایه‌سازی معنایی پنهان، فنی‌ست که پرسش‌ها و مدارک را به فضایی با ابعاد معنایی پنهان وارد می‌سازد" (۴۱). پاپادیمیتریو و همکارانش آن را فنی برای بازیابی اطلاعات بر اساس تحلیل طیفی ماتریس عبارت مدرک تعریف می‌کنند که پیشرفت‌های تجربی پیش از آن فاقد هرگونه پیش‌بینی و توصیف محکم بود. به زعم آنها نمایه‌سازی معنایی پنهان نوعی روش بازیابی اطلاعات است که تلاش دارد تا ساختار معنایی پنهان مجموعه مدارک را با استفاده از فنون برگرفته از جبر خطی کشف کند (۳۸).

نمایه‌سازی معنایی پنهان اولین بار توسط گروهی از پژوهشگران (دیروستر و همکارانش) در بلکور[22] در بازیابی اطلاعات به‌کار رفت (۱۸) و نمایه‌سازی معنایی پنهان نامیده شد. پژوهشگران به این دلیل واژه "پنهان" را به آن می‌افزایند که عبارت‌های جدید که بازنمون اطلاعات معنایی هستند، مستقیماً از مدارک یافت نمی‌شوند بلکه حاصل بررسی کل مجموعه مدارک و استفاده از روش ریاضی خاصی باعنوان تجزیه مقادیر منفرد (اس. وی. دی) است. به عقیده چنگ ساختار معنایی پنهان مدرک با توجه به الگوی استفاده از واژگان (با توجه به امکان انتخاب چندین واژه) شکل می‌گیرد. مدل نمایه‌سازی معنایی پنهان از فنون آماری خاصی برای نشان دادن ساختار پنهان معنایی و زدودن زواید ناشی از امکان انتخاب چند واژه به جای یک مفهوم که دیروستر و همکارانش به‌طور مبسوط آن را توصیف کرده‌اند، استفاده می‌کند و با کشف الگوی استفاده از واژه‌ها، این ساختار را آشکار می‌کند و باعث حذف نوفه (پارازیت) می‌شود (۱۶).

پیش فرض نمایه‌سازی معنایی پنهان این است که معمولاً کل محتوای معنایی یک متن چون پاراگراف، چکیده یا کل مدرک با مجموع معانی واژه‌های آن به‌طور تقریبی برابر است. یعنی بدین صورت که:

معنای واژه اول+ معنای واژه دوم + معنای واژه سوم+...معنای واژهn ام=معنای پاراگراف

همچنین می‌توان با احتساب هر متن به صورت یک معادله خطی و کل مجموعه مدارک به‌صورت نظامی از معادلات هم‌زمان، معنای پایدار بازنمون‌های واژه‌ها را از کل یک مجموعه مدرک بزرگ به‌دست آورد (۳۶).

نمایه‌سازی معنایی پنهان با استفاده از بستر متن، مترادف‌ها (یعنی امکان انتخاب چند واژه به جای یک مفهوم) و چند معنایی‌ها (یعنی وجود چند معنا برای عبارتی واحد) را کنترل و بدین ترتیب از ریزش کاذب پیشگیری می‌کند. یک عبارت پنهان ممکن است مرتبط به یک مفهوم نمایان[23] (مانند مفهوم تعامل انسان و رایانه) باشد که با چند کلیدواژه توصیف می‌شود و ترکیبی از چند واژه است (۱۲).

بنا به ادعای پژوهشگرانی چون دیروستر، دومیس، لندئر، فارناس و هارشمن[24]، نمایه‌سازی معنایی پنهان شناخته‌شده‌ترین الگوریتم بازیابی اطلاعات است و برای مقاصد گوناگونی چون جستجو و بازیابی (۱۸)، رده‌بندی (۵۲) و پالایش[25] (۲۱؛ ۲۳) به‌کار می‌رود. نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از روش‌های فضایی برداری برای مدل‌سازی مدارک است و طبق نظر دیروستر و دیگران؛ دومیس؛ و کنتستاتیس و پتنگر معنای "پنهان" مجموعه مدارک را آشکار می‌سازد (۱۸؛ ۲۲؛ ۳۳).

پژوهش‌های دومیس نشان دادند که نمایه‌سازی معنایی پنهان با ترجیح مفهوم معنایی مدرک بر واژگان آن، مدل‌های فضایی برداری را بهبود می‌بخشد (۲۰؛ ۲۳).

در نمایه‌سازی معنایی پنهان برخلاف مدل‌های برداری مدارک که عبارت‌ها و واژه‌ها را مستقل فرض می‌کنند، سطوح مختلفی از همبستگی[26]، وابستگی[27] یا پیوستگی[28] برای

20.Synonymy
21.Polysemy
22.Bellcore
23.Salient
24.Dreewester, Dumais, Landauer, Furnas & Harshman
25.Refinement
26.Correlation
27.Dependency
28.Association

آنها درنظر گرفتـــه می‌شـــود و این پیوستگی‌های بین عبارت‌ها با تشکیل مجموعه جدیدی از عبارت‌ها با استفاده از روش آماری تجزیه مقادیر منفرد مشخص می‌شوند (۳۷) همچنین در فضای معنایی پنهان، یک پرسش و یک مدرک، حتی درصورت نداشتن عبارت مشترک، می‌توانند تشابه کسینوسی زیادی داشته باشند زیرا عبارت‌های آنها از نظر معنایی، مشابهت مفهومی دارند درصورتی‌که در مدل‌های برداری چنین چیزی امکان‌پذیر نیست (۴۱).

مهمترین نکته قوت نمایه‌سازی معنایی پنهان کارآمدی بازیابی مبتنی بر پرسش کاربر است که از طریق محاسبه ماتریس حاصل می‌شود. همان‌طورکه با استفاده از این روش مدارک مربوط، حتی در صورت عدم مطابقت واژگان محتوای دو مدرک با یکدیگر، بازیابی می‌شوند (۱۲).

به‌طورکلی می‌توان گفت که نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از فنون روبه‌رشد نمایه‌سازی مجموعه مدارک بزرگ است که سعی دارد از یادگیری آماری ماشین[۲۹] در تحلیل متون استفاده کند (۳۶).

محققان مزایای مختلفی برای نمایه‌سازی معنایی پنهان برمی‌شمرند که در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود:

چنگ، یکی از اصلی‌ترین مزایای نمایه‌سازی معنایی پنهان را استفاده از مفاهیم معنایی به جای تک‌تک واژه‌ها در نمایه‌سازی می‌داند که بدین ترتیب مدارک مربوط حتی در صورت نبود واژه مشترک با عبارت پرسش بازیابی می‌شوند (۱۷). دیروستر نیز مزیت اصلی استفاده از بازنمون نمایه‌سازی معنایی پنهان را کارآمدی آن در رویارویی با مـــدارکی می‌داند که حاوی مترادف‌ها، چندمعنایی‌ها، و عبارت‌های وابسته به همدیگر است (۱۸). به نظر هازبندز، سیمون و دینگ نمایه‌سازی معنایی پنهان چون یکی از روش‌های گسترش پرسش است می‌تواند جامعیت را بهبود بخشد (۳۰).

موارد استفاده و کاربردهای نمایه‌سازی معنایی پنهان

پژوهشگران استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان را در حوزه‌های مختلف ارزیابی کرده‌اند و آن را یکی از پرکاربردترین روش‌های نمایه‌سازی دانسته‌اند.

موارد استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان عبارتند از :

۱. بازیابی اطلاعات: همان‌طورکه گفته شد نمایه‌سازی معنایی پنهان اولین بار توسط گروهی از پژوهشگران در بلکور در بازیابی اطلاعات به‌کار رفت (۱۸) و به‌همین نام شناخته شد. این روش بهتر از روش‌های برداری استاندارد عمل می‌کند و حتی درصورت نبود اشتراک واژگانی میان سؤال و مدرک، کارآیی خود را حفظ می‌کند. استفاده از نمایه‌سازی پنهان معنایی در بازیابی اطلاعات در مقالات متعددی توسط محققانی چون بری، دومیس و ابریان؛ دومیس؛ هال[۳۰]؛ و هازبندز، سیمون و دینگ تأکید شده است (۹؛ ۲۳؛ ۲۹؛ ۳۰). محققان دیگری چون اندو و لی[۳۱] ؛ بارتل، کترل و بلو[۳۲] ؛ دومیس ؛ و ژا[۳۳]، مارکوس و سیمون[۳۴] نیز در پژوهش‌های خود نشان دادند که با استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان جامعیت و مانعیت نظام بازیابی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (۴؛ ۷؛ ۲۰؛ ۵۳). بشیری نیز از این روش در بازیابی متون فارسی استفاده کرده است (۱).

۲. بازخورد ربط: بیشتر آزمون‌هایی که از نمایه‌سازی معنایی پنهان برای بازخورد ربط استفاده می‌کنند از روشی استفاده می‌کنند که در آن، حاصل جمع‌برداری مدارکی که توسط کاربران مربوط شناسایی شده‌اند، جایگزین پرسش اولیه می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که جایگزین‌سازی اولین مدرک مربوط با پرسش اولیه، عملکرد را درحد ۳۳ درصد و جایگزین‌سازی سه مدرک مربوط به آن عملکرد را درحد ۶۷ درصد بهبود می‌بخشد. نمایه‌سازی معنایی پنهان این قابلیت را دارد که با استفاده از فنون گسترش پرسش حتی بدون استفاده از بازخورد ربط اقدام با شناسایی مدارک مربوط کند ولی با استفاده از اطلاعات حاصل از بازخورد ربط، بازدهی عملکرد را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

۳. پالایش[۳۵] اطلاعات: استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان در پالایش اطلاعات بسیار آسان است. ابتدا نمونه‌ای از مدرک با استفاده از ابزارهای استاندارد نمایه‌سازی معنایی پنهان و تجزیه مقادیر منفرد تحلیل می‌شوند و بدین ترتیب علایق کاربر به‌صورت برداری با ابعاد کم نشان داده می‌شود و سپس مدارک موجود در مجموعه با آن بردار مطابقت داده شده و در صورت تشابه مدرک با آن بردار، به کاربر توصیه

29.Statistical Machine Learning
30.Hull
31.Ando &Lee
32.Bartell, Cottrel & Below
33.Zha
34.Simon
35.Filtering

می‌شود. البته می‌توان با گذشت زمان با استفاده از روش‌های یادگیری نظیر بازخورد ربط برای بهبود بازنمون بردارهای علایق استفاده کرد (زیرا این علایق در طول زمان تغییر می‌یابند) (۴۱).

۴. همایش ارزیابی بازیابی متنی[۳۶]: اخیراً از نمایه‌سازی معنایی پنهان در زمینه‌های پالایش و بازیابی اطلاعات همایش ارزیابی بازیابی متنی استفاده می‌شود. پرسش‌های این برنامه بسیار طولانی و حاوی توصیفات مفصلی هستند که گاه طول آنها به ۵۰ کلمه نیز می‌رسد. پرسش‌های این برنامه، دارای ابزارهای قوی‌تری نسبت به محاسن نمایه‌سازی معنایی پنهان یا سایر روش‌هایی که سعی در غنی‌سازی پرسش‌های کاربران دارند، است. اصلی‌ترین چالش این مجموعه، گسترش ابزارهای نمایه‌سازی معنایی پنهان برای کنترل حجم مجموعه بود که این نتایج، کاملاً دلگرم‌کننده بودند. از آنجا که در زمان همایش‌های ارزیابی بازیابی متنی محاسبه کل مدارک مجموعه منطقی نبود، از نمونه‌ای در حدود ۷۰ هزار مدرک و ۹۰ هزار عبارت استفاده شد. چنین ماتریس‌های عبارت- مدرکی بسیار پراکنده هستند و فقط ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ درصد ورودی‌ها را دربر می‌گیرند، برای مثال محاسبه دویستمین مقدار فردی بزرگ‌تر، به حدود ۱۸ ساعت زمان کار واحد پردازش مرکزی[۳۷] در یک پایگاه سانس پارک[۳۸] با ده ایستگاه کاری نیاز داشت. با وجود دشواری بسیار مقایسه تفصیلی نظام‌ها (به علت تفاوت‌های قابل توجه پیش‌پردازش، بازنمون و مطابقت)، عملکرد نمایه‌سازی معنایی پنهان بسیار خوب گزارش شد (۲۱). استفاده از اطلاعات درباره مدارک شناخته شده مربوط برای ایجاد برای هر پرسش، در پالایش بسیار سودمند بود. مزیت بازیافت ۳۱ درصدی تا حدی کمتر از میزان مشاهده شده در سایر آزمون‌های پالایش بود که به پرسش‌های اولیه این همایش نسبت داده می‌شود. در بازیابی نیز با استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان در مقایسه با روش‌های برداری کلیدواژه‌ای ۱۶ درصد بهبود مشاهده شد (۹).

۵. بازیابی در متون چندزبانه: چون نمایه‌سازی معنایی پنهان از دستور زبان انگلیسی استفاده نمی‌کند می‌توان از آن در هر زبانی استفاده کرد. به علاوه می‌توان از آن در بازیابی از متونی که چندزبانه هستند استفاده نمود و پرسش‌های کاربران (در هر زبان موجود در متون) با مطابقت زبان پرسش با مدارک هم‌زبان صورت می‌گیرد. لندوئر و لیتمن[۳۹] روشی را برای ایجاد فضایی مشترک که واژه‌های هر زبان در آن ارائه شوند با استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان توصیف می‌کنند (۳۵). در این نوع موارد ماتریس اولیه عبارت-مدرک، با استفاده از مجموعه‌ای از چکیده‌های چندین (که در پژوهش آنها فرانسوی و انگلیسی بود) تشکیل می‌شود و به هر چکیده به‌صورت ترکیبی از نسخه‌های انگلیسی و فرانسوی ، نگاه می‌شود. تجزیه مقادیر منفرد کاهش‌یافته، ماتریس عبارت-چکیده ترکیبی محاسبه می‌شود. فضای حاصل از چکیده‌های ترکیبی انگلیسی و فرانسوی تشکیل می‌شود. بدین ترتیب در این فضای کاهش‌یافته، واژه‌های انگلیسی و فرانسوی که در چکیده‌های ترکیبی مشابه ظاهر می‌شوند، در کنار همدیگر قرار خواهند گرفت. بعد از این تحلیل، چکیده‌های تکزبانی وارد می‌شوند؛ یک چکیده فرانسوی به سادگی در بردار حاصل جمع واژه‌های اجزای اصلی که قبلاً در فضای نمایه‌سازی معنایی پنهان وارد شده بودند قرار می‌گیرد. پرسش‌های انگلیسی یا فرانسوی با چکیده‌های انگلیسی یا فرانسوی مطابقت داده می‌شوند. در فضای نمایه‌سازی معنایی پنهان نیازی به ترجمه نیست. تجربه‌ها نشان داده‌اند که فضای چندزبانی کاملاً خودکار، حتی بهتر از فضایی با زبان واحد عمل می‌کند و نتایج بهتری عاید کاربران می‌کند. عملکرد بازیابی مدارک فرانسوی زبان با پرسش‌های به زبان انگلیسی (و برعکس) برابر با عملکردی‌ست که ابتدا پرسش‌ها به فرانسوی ترجمه و سپس در پایگاه داده منحصراً فرانسوی جستجو شوند. این روش نتایج خوبی را در بازیابی چکیده‌های انگلیسی و اندیشه نگاشت‌های ژاپنی کنجی و ترجمه‌های چندزبانی (انگلیسی و یونانی) ارائه داد (۵۱).

۶. مطابقت افراد به‌جای مدارک: از دیگر کاربردهای نمایه‌سازی معنایی پنهان یافتن افراد خبره در یک حوزه خاص با استفاده از مقالات و آثار آنهاست. در این کاربرد، اشخاص براساس مقالاتی که نوشته‌اند معرفی می‌شوند. برای مثال در پژوهش فرناس[۴۰] و دیگران که بلکور ادوایز[۴۱] نام دارد نظامی برای یافتن خبرگان محلی باتوجه به پرسش‌های کاربران طراحی شد. یک پرسش با جدیدترین مدارک مطابقت

36.TREC = Textual Retrieval Evaluation Conference
37.CPU = Central Processing Unit
38.SUNSPARC
39. Landauer & Littman
40.Furnas
41.Bellcore Advisor

داده می‌شد و توصیف و مشخصات مربوط به پدیدآوران به عنوان مربوط‌ترین مطلب ارائه می‌شد (۲۷). در موردی دیگر، از نمایه‌سازی معنایی پنهان برای تخصیص مقالات به افراد به منظور ارزیابی داوری آنها استفاده شد. برای انجام این کار ابتدا صدها منتقد بر اساس متون تألیفیشان توصیف شدند که این کار بنیان تحلیل نمایه‌سازی معنایی پنهان شد. صدها مقاله نیز براساس چکیده آنها نشان داده شدند و با نزدیک‌ترین و مرتبط‌ترین داوران مطابقت داده شدند. استفاده از امکان تشابه‌یابی این برنامه برای تخصیص مقالات همایش "تعامل انسان- رایانه" به داوران انجام شد. تحلیل‌های بعدی نشان داد که این کار کاملاً خودکار، به‌خوبی کاری بود که توسط افراد خبره انجام شده بود (۹).

۷. پرسش‌ها و مدارک اشتباه: نمایه‌سازی معنایی پنهان به دلیل عدم وابستگی به مطابقت کلیدواژه‌ای، در رویارویی با دروندادهای اشتباه، که در نمادخوان نوری[۴۲] ، درونداد باز[۴۳]، یا خطاهای هجی‌کردن رخ می‌دهد، بسیار مفید است. در صورت بروز خطا در هنگام پویش[۴۴] و هجی غلط واژه‌ای چون Dumais که Duniais نوشته شود، سایر واژه‌های مدرک، صحیح هجی خواهند شد و درصورتی‌که واژه‌هایی که به صورت صحیح هجی شده‌اند در مدارکی ظاهر شوند که نسخه صحیح هجی شده Dumais را داشته باشند، Dumais در فضای کاهش یافته، نزدیک Duniais قرار خواهد گرفت (۹).

۸. سایر موارد: اسچاتز[۴۵] ؛ و گالانت[۴۶] از تجزیه مقادیر منفرد و ایده‌های مرتبط به کاهش ابعاد در ابهام‌زدایی معنای واژه و کار بازیابی اطلاعات استفاده کردند (۲۸؛ ۴۵). هال؛ و یانگ و چوت[۴۷] از تجزیه مقادیر منفرد و نمایه‌سازی معنایی پنهان و در اولین مرحله ارتباط با رده‌بندی آماری استفاده کردند. چنانکه با استفاده از ابعاد مأخوذ از این نمایه‌سازی، تعداد متغیرهای پیشگوی[۴۸] رده‌بنـــدی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافتند (۲۹؛ ۵۰). وو[۴۹] و همکارانش نیز از این برنامه در کاهش ابعاد مجموعه آموزش نظام رده‌بندی پروتئین شبکه عصبی که در ژنوم[۵۰] انسان به‌کار می‌رود استفاده کردند (۴۸). پژوهش پاپادیمیتریو و همکارانش نشان داد که فور؛ فلیکنر و دیگران؛ جلیف؛ و کرن و دیگران نیز در پژوهش‌های خود از این روش استفاده کرده‌اند (۳۸؛ ۲۶؛ ۲۵؛ ۳۱؛ ۳۴). رزاریو[۵۱] یکی از کاربردهای عمده این نمایه‌سازی را سنجش میزان تشابه می‌داند و آن را جایگزینی برای مقیاس‌های سنتی مبتنی بر همپوشانی واژه‌ها چون TF.IDF می‌داند (۴۱). پژوهش‌های بیکر و مکلام[۵۲] ؛ دومیس؛ و یانگ نشان داد که این برنامه نمایه‌سازی دسته‌بندی متن را بهبود می‌بخشد (۶؛ ۲۳؛ ۴۹) و پژوهش اسچاتز نشان داد که استفاده از آن در ابهام‌زدایی مفهوم واژه خیلی سودمند است (۴۴). هازبندز، سیمون و دینگ در پژوهش خود نشان دادند علاوه بر اینکه استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان در مجموعه مدارک کوچک سودمند و اثرگذار است، اثربخشی آن در مجموعه مدارک بزرگ بیشتر است. آنها در پایان با ذکر اینکه استفاده از این روش مانعیت بازیابی را افزایش نمی‌دهد با پیشنهاد روش خاصی برای عادی‌سازی عبارت، این نقصان را برطرف کردند (۳۰). لازم به ذکر است که محققانی چون بارتل[۵۳] و همکارانش؛ دینگ[۵۴]؛ پاپادیمیتریو و همکارانش؛ و ژا و همکارانش؛ قبلاً سودمندی استفاده از این برنامه نمایه‌سازی را در مجموعه مدارک کوچک نشان داده بودند (۷؛ ۱۹؛ ۳۸). و در نهایت پاپادیمیتریو و همکارانش نیز ثابت کردند که این برنامه در شرایط خاص در اقتباس معنای ضمنی مجموعه مدارک بزرگ موفق عمل می‌کند و عملکرد بازیابی را بهبود می‌بخشد. آنها سازوکاری باعنوان پیش‌بینی تصادفی را برای تسریع نمایه‌سازی معنایی پنهان پیشنهاد کردند (۳۸).

سایر موارد استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان عبارتند از تحلیل تشابه عمومی (۱۴؛ ۱۵)، طرح استارواکر[۵۵] (۱۶). پرتر و همکارانش نیز از آن در پیش‌بینی روند گسترش فناوری‌ها استفاده کردند (۵۵).

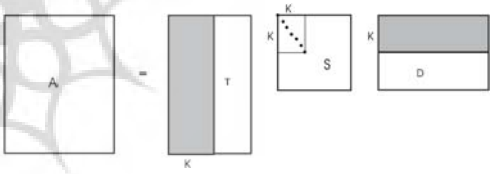
تجزیه مقادیر منفرد

نمایه‌سازی معنایی پنهان بر نوعی فن ریاضی باعنوان "تجزیه مقادیر منفرد" استوار است که مبانی جبری آن برای اولین بار در مقاله دیروستر و همکارانش توصیف شد (۱۸) و

42.OCR = Optical Character Reader
43.Open
44.Scan
45.Schutz
46.Gallant
47.Yang & Chute
48.Predictor Variables
49.Wu
50.Genome
51.Rosario
52.Baker & Maccallum
53.Bartell
54.Ding
55.Starwalker

بعدها در مقالات بری، دومیس و ابراین[56] بیشتر به آن پرداخته شد (۹). این مقالات فرایند این فن را توصیف و ماتریس‌های حاصل را از نظر هندسی تفسیر کردند. مقاله وایمر-هستینگز[57] نیز نشان داد که توانایی و کارآیی قابل‌توجه نمایه‌سازی معنایی پنهان ناشی از روش ریاضی "تجزیه مقادیر منفرد" است (۳۳؛ ۴۷). لازم به ذکر است که از این سازوکار در مجموعه‌های بیش از نیم میلیون مدرک حاوی ۷۵۰ هزار نوع واژه منحصربه‌فرد برای سنجش تشابه دو مدرک استفاده می‌شود (۳۶).

کنتستاتیس و پتنگر[58] درباره رابطه میان عملکرد نمایه‌سازی معنایی پنهان و مقادیر ماتریس عبارت-مدرک بحث کردند و نتیجه گرفتند که این برنامه بر تفاوت‌های معنایی (معانی پنهان) تأکید می‌کند در نتیجه نوفه (پارازیت) را در داده‌ها کاهش می‌دهد (۳۳). در این نمایه‌سازی برخلاف مدل فضایی برداری سنتی که مدارک و پرسش‌ها به صورت بردارهایی در فضای t بعدی (t تعداد عبارت‌های نمایه شده مجموعه است) ارائه می‌شدند از تجزیه مقادیر منفرد برای تجزیه ماتریس عبارت- مدرک به سه ماتریس استفاده می‌شود. این سه ماتریس عبارتند از T که یک ماتریس عبارت



-اندازه است، S یک ماتریس مقدار فردی (اندازه- اندازه) و D یک ماتریس مدرک-اندازه. تعداد اندازه‌ها نیز که رتبه ماتریس عبارت- مدرک است با r نشان داده می‌شود. در یک نظام نمایه‌سازی معنایی پنهان، ماتریس‌های T, S و D به میزان k کاهش می‌یابند (۳۳).

در تصویر فوق (که برگرفته از منبع ۹ است و نحوه کاهش ماتریس را با استفاده از تجزیه مقادیر منفرد توضیح می‌دهد) نواحی هاشور خورده ماتریس‌های T, D باقی می‌مانند چون بیشترین مقدار فردی را دارند و نواحی غیرهاشورخورده نیز حذف می‌شوند. هدف از کاهش اندازه در فرایند تجزیه مقادیر منفرد و نمایه‌سازی معنایی پنهان، کاهش نوفه (پارازیت) در فضای پنهان است که باعث می‌شود تا ساختار رابطه واژگانی غنی‌تر، معانی پنهان کنونی مجموعه را آشکار سازد (۳۳).

نمایه‌سازی معنایی پنهان برای کاهش اندازه از پارامتر k استفاده می‌کند که این مقدار برای هر مجموعه به‌صورت تجربی، محاسبه می‌شود. به‌طور کلی به دلیل هزینه محاسبه الگوریتم تجزیه مقادیر منفرد و ذخیره و مقایسه بردارهایی با ابعاد بزرگ، مقادیر کوچک برای k ترجیح داده می‌شوند (۳۳).

پژوهشگرانی چون ژا و سیمون نیز نمایه‌سازی معنایی پنهان را با استفاده از مدل‌های فضایی فرعی توصیف کردند و آزمونی آماری برای انتخاب میزان بهینه ابعاد یک مجموعه پیشنهاد نمودند (۵۴). استوری[59] درباره رابطه آن با روش‌های رگرسیون آماری و قضیه بیس بحث کرده است (۴۶). دینگ نیز یک مدل آماری برای سنجش تشابه کسینوس ارائه داد (۱۹). اسچاتز نیز قابلیت‌های قابل‌توجه تجزیه مقادیر منفرد را مطالعه کرده است (۴۵).

از آنجا که ساخت ماتریس تجزیه مقادیر منفرد از نظر محاسباتی گران است تمهیداتی اندیشیده شده که اندازه ماتریس به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یابد. این کاهش اندازه علاوه بر اینکه هزینه محاسباتی را کاهش می‌دهد بلکه به هنگام بازیابی، نوفه (پارازیت) را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد و مدارک را به‌طور خودکار، به‌صورت ساختارهای معنایی متناسب با بازیابی اطلاعات سازماندهی می‌کند (۱۲). انتخاب ابعاد، مسئله مهمی در نمایه‌سازی معنایی پنهان است به‌گونه‌ای که کاهش متناسب ابعاد، نوفه‌ها و بازیابی‌های ناخواسته را کاهش می‌دهد و در مقابل کاهش زیاد تعداد ابعاد باعث از میان رفتن اطلاعات مهم در هنگام بازیابی می‌شود (۴۱).

حال در این بخش برای روشن شدن هر چه بیشتر مطلب، فن ریاضی تجزیه مقادیر منفرد با مقدمه و مثال توصیف می‌شود. ماتریس F را که به‌صورت mxn است در نظر بگیرید که از دو بعد تشکیل شده است. اگر m=n باشد F را مربع می‌گویند. در ماتریس معکوس[60] این ماتریس که با F^{-1} نشان داده می‌شود چنین ویژگی وجود دارد که $FF^{-1}=F^{-1}F$. در صورتی که یک ماتریس مربع، ماتریس

56.Berry, Dumais & O'Brien
57.Wiemer-Hastings
58.Kontostathis & Pottenger
59. Story
60.Inverse

معکوس داشته باشد به آن غیرمنفرد[61] و درغیر این صورت به آن منفرد[62] گویند. مقلوب[63] ماتریس F نیز که با F^t نشان داده می‌شود با تعویض جای سطرها و ستون‌ها با هم رخ می‌دهد و یک ماتریس در صورتی ماتریس واحد[64] نامیده می‌شود که مقلوب و معکوس آن یکسان باشد یعنی. $FF^{-1}=FF^t$ ماتریس nxn با نام F در صورتی رتبه r را به خود اختصاص می‌دهد که بزرگ‌ترین زیرماتریس مربع غیرمنفرد F یک ماتریس rxn باشد. با استفاده از تجزیه مقادیر منفرد می‌توان ماتریس قراردادی F را با ابعاد mxn این‌چنین نشان داد $A^{1/2}=F_v U^t$ که U, V ماتریس‌های

$$A^{1/2}=\begin{bmatrix}\lambda_1^{1/2} & & & \vdots & \\ & \ddots & & \vdots & 0 \\ & & \lambda_r^{1/2} & \vdots & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ & 0 & & \vdots & 0\end{bmatrix}$$

واحد nxn، λ nxm هستند و $A^{1/2}$ یک ماتریس mxn با قطر $_t^{1/2}$ است که یک مقدار منفرد F نامیده می‌شود. از آنجا که U, V ماتریس‌های واحد هستند می‌توانیم بنویسیم که $F=UA^{1/2}V^t$

ستون‌های ماتریس واحد U از بردارهای ویژه[65] ماتریس متناسب FF^t و ستون‌های ماتریس واحد V ، از بردارهای ویژه ماتریس متناسب F^tF تشکیل یافته‌اند. بنابراین می‌توان

$$F=\sum_{j=1}^{r}\lambda_j^{1/2}\,u_j v_j^t$$

ماتریس F را برحسب بردارهای ویژه این‌چنین نشان داد :

حاصل‌ضرب بردارهای ویژه بیرونی فوق، مجموعه‌ای از ماتریس‌های با رتبه واحد را تشکیل می‌دهند که هر یک از

$$F=\begin{bmatrix}6 & 6\\ 0 & 1\\ 4 & 0\\ 0 & 6\end{bmatrix}$$

آنها با مقدار منفرد مربوط F آنها مشخص می‌شوند (۳۷).

مثال برای تجزیه مقادیر منفرد: برای محاسبه تجزیه مقادیر منفرد ماتریس F بدین ترتیب عمل می‌کنیم:

مرحله اول: ابتدا V را محاسبه می‌کنیم:

$$F'F=\begin{bmatrix}52 & 36\\ 36 & 73\end{bmatrix}$$

مقادیر ویژه ماتریس فوق به ترتیب ۲۵ و ۱۰۰هستند و بردارهای ویژه آنها نیز به ترتیب و $[۰,۶۰,۸]^t$,$[۰,۸-,۶]^t$ هستند.

مرحله دوم: U را محاسبه می‌کنیم:

$$FF'=\begin{bmatrix}72 & 6 & 24 & 36\\ 6 & 1 & 0 & 6\\ 24 & 0 & 16 & 0\\ 36 & 6 & 0 & 36\end{bmatrix}$$

این ماتریس فقط دو مقدار ویژه غیرصفر دارد و بردارهای ویژه آن

$[0,840,080,\ 240,48]^t$

$[0,24\text{-}0,\ 120\ ,\ 64\text{-}0,72]^t$

هستند.

مرحله سوم F : را در شکل تجزیه مقادیر منفرد بدین نحو نشان می‌دهیم:

$F=(100)^{1/2}[0,48,080,240,48]^t$

$[0,60,8]^t+(25)^{1/2}$

$[0,24\text{-}0,120,64\text{-}0,72]^t\ [0,8\text{-}0,6]^t$

شیوه کار نمایه‌سازی معنایی پنهان

حال پس از روشن شدن روش کار تجزیه مقادیر منفرد که درک آن لازمه درک مراحل کار نمایه‌سازی معنایی پنهان است در این بخش به‌صورت مفصل و با مثالی مراحل کار این نمایه‌سازی توصیف می‌شود.

برنر، چن و بویاک روش کار را چنین بیان می‌کنند (۱۲):

61.Nonsingular
62.Singular
63.Transpose
64.Unitary
65.Eigenvector

۱. نمونه های بازنمون مجموعه مدارک به ماتریس واژه‌های عنوان/پدیدآور/چکیده مقالات وارد می‌شوند. ورودی‌های سلول‌های ماتریس، فراوانی واژه در عنوان/پدیدآور/چکیده یک مدرک هستند.

۲. در این مرحله اطلاعات حاصل از وزن‌دهی مدارک به تجزیه مقادیر منفرد وارد می‌شوند.

۳. با استفاده از تجزیه مقادیر منفرد یک فضای معنایی چکیده n بعدی ساخته شده و هر واژه به‌صورت یک بردار نشان داده می‌شود.

۴. برآیند بردارهای واژه‌های محتوایی آن مدرک بدون احتساب ترتیب آنها، بازنمون نهایی نمایه‌سازی معنایی پنهان از مدرک محسوب می‌شود (۱۲).

به‌طور ساده می‌توان اصلی‌ترین مراحل کاری نظام بازیابی اطلاعات در نمایه‌سازی معنایی پنهان را موارد زیر دانست:

۱. کاهش خودکار عبارت های مجموعه مدارک،

۲. به دست آوردن مدارک از پایگاه‌های داده ذخیره شده در آن،

۳. پیش فرآوری مجموعه مدارک با استفاده از عبارت‌ها و حذف واژگان غیرمجاز[66]،

۴. ساخت ماتریس عبارت- مدرک،

۵. محاسبه میزان تجزیه مقادیر منفرد ماتریس عبارت- مدرک،

۶. بازیابی مدارک بر اساس پرسش کاربر.

در این بخش رویکرد نمایه‌سازی معنایی پنهان با استفاده از یک مثال توصیف می‌شود.

مجموعه کوچکی از مدارک فرضی D1 تا D9 را در نظر بگیرید. این مدارک در دو موضوع متفاوت قرار دارند. ۵ مدرک اولی در زمینه تعامل انسان- رایانه و چهار مدرک مابقی در زمینه گراف‌ها هستند.

D1: Human machine interface
for computer applications in finance
D2: A survey of user
opinion of computer system response time
D3: The EPS user interface
management system
D4: System and human
system engineering testing of EPS
D5: Relation of user-perceived
response time to error measurements
D6: Generatinrag ndom, binary,
unordered trees
D7:The intersection
graph of paths in trees
D8: Graph minors:
widths of trees and well-quasi-ordering
D9: Graph minors: a survey

واژه‌هایی که در بیش از یک مدرک ظاهر شده‌اند با قلم سیاه نشان داده شده‌اند و در نمایه‌سازی و ساخت ماتریس پیوستگی عبارت- مدرک به‌کار می‌روند. این ماتریس نشان می‌دهد که هر عبارت چند بار در مدرک تکرار شده است.

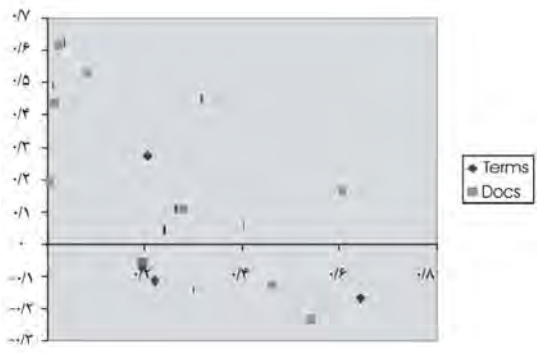
عبارت	D۱	D۲	D۳	D٤	D٥	D٦	D۷	D۸	D۹
human	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
interface	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
computer	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
user	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰
system	۰	۱	۱	۲	۰	۰	۰	۰	۰
response	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
time	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
EPS	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰
survey	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
trees	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰
graph	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱
minors	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱

حال در این مرحله و با تشکیل ماتریس عبارت مدرک درونداد مدل تجزیه مقادیر منفرد فراهم شد. یکی از جالب‌ترین جنبه‌های رویکرد این مدل این است که می‌توان با آن عبارت و مدرک را در یک فضا به صورت نقاطی مانند حاصل‌ضرب داخلی (مقیاس کسینوس) میان نقاط مشاهده کرد. با تخمین ویژگی[67] تجزیه مقادیر منفرد، اندازه فضای بازنمون کاهش می‌یابد. در عمل فضا طوری انتخاب شده است که برای مقادیر ۱۰۰ تا ۲۰۰ مدرک که حاوی چندهزار عبارت باشند پاسخگو باشد.

در نمودار زیر بازنمون دوبعدی همه مدارک و عبارت‌های مثال فوق نشان داده شده است. در این بازنمون دو سطر اول ماتریس $UA^{1/2}$، مختصات عبارت‌ها و همچنین دو سطر

66.Stop words
67. Property

اول $VA^{1/2}$ نیز به عنوان مختصات مدارک در نظر گرفته



برای استفاده از این بازنمون در بازیابی، عبارت‌های پرسش در فضای فوق ترسیم و مدرک کاذبی ساخته می‌شود. برای مثال اگر پرسش Human-Computer Interaction باشد مدرک کاذب در نقطه‌ای بین عبارت‌های Human و Computer قرار می‌گیرد و در مرحله بعد با توجه به سنجش متناسب با مدارک موجود در فضای مدرک مقایسه می‌شود (در صورت نیاز). این رویکرد امکان کشف پیوستگی‌های پیچیده و غیرمستقیم میان عبارت‌ها و مدارک را به کاربر می‌دهد (۳۷).

پیشرفت‌های فناورانه و چشم‌انداز نمایه‌سازی معنایی پنهان

رزاریو معتقد است که امروزه بعضی پیشرفت‌های رایانه‌ای هستند که استفاده از نمایه‌سازی معنایی پنهان را به‌ویژه در مجموعه‌های بزرگ‌تر سودمندتر می‌سازند (۴۰) مثلاً:

۱. محاسبه کارآمد تجزیه مقادیر منفرد کاهش یافته در ماتریس‌های بی‌نهایت بزرگ و پراکنده؛

۲. روزآمدسازی تجزیه مقادیر منفرد بی‌درنگ در پایگاه‌های داده‌ای که به‌طور مکرر تغییر می‌کنند؛

۳. مطابقت کارآمد پرسش ها با مدارک (یعنی یافتن مدارک و پرسش‌های نزدیک به هم در فضایی با ابعاد زیاد) (۴۱).

مبحث نمایه‌سازی معنایی پنهان با توجه به نو بودن و داشتن قابلیت‌های فراوان مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است چنانکه مراکز پژوهشی خاصی به دنبال بهبود و گسترش آن هستند. در ایران نیز بشیری در رساله کارشناسی ارشد خود به این روش پرداخت و با استفاده از مدل مجموعه‌های نامنظم میزان عملکرد آن را به‌صورت عملی و تجربی در بازیابی متون فارسی ارزیابی کرد و به نتایج قابل‌توجهی دست یافت به‌نحوی که مانند سایر پژوهش‌های مشابه در خارج از کشور به قابلیت‌های خاص این روش در بازیابی اطلاعات اذعان داشت (۱). در ادامه چند منبع وب شناخته شده نمایه‌سازی معنایی پنهان در سطح جهان معرفی می‌شوند که در زمینه توسعه و بهبود این روش فعالیت می‌کنند:

۱. صفحه نمایه‌سازی معنایی پنهان تلکردیا[۶۸] (بلکور سابق) به نشانی:

http:/lsi.research.telcordia.com

۲. وب سایتی در دانشگاه کلرادو به نشانی

نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از گام‌های عملی جامعه اطلاع‌رسانی برای تحقق نمایه‌سازی خودکار است که علاوه بر کاربرد در بازیابی اطلاعات، در زمینه‌های مختلفی چون بازخورد ربط، پالایش اطلاعات، بازیابی متنی، بازیابی در متون چندزبانه، مطابقت افراد به جای مدارک، بازیابی متونی که اشکالات چاپی دارند، ابهام زدایی معانی واژه، رده‌بندی آماری، و سنجش میزان تشابه استفاده می‌شود

68.Telcordia

|http:/www.lsi.research.telcordia.com

۳. وب سایتی در دانشگاه تنسی به نشانی
http://www.cs.utk.edu/~lsi

۴. SVDPAckc (نسخه ۱/۰) که توسط مایکل بری[۶۹] توسعه یافته است و شامل چهار روش عددی (تکراری) برای محاسبه مقادیر فردی ماتریس‌های پراکنده بزرگ با استفاده از مانعیت مضاعف ANSI Fortran۷۷ است، به نشانی
http://netlib.org/svdpack

۵. تجزیه‌گر عمومی متن[۷۰] که توسط هوارد، تنگ، بری و مارتین[۷۱] در دانشگاه تنسی طراحی شده است که یک بسته نرم‌افزاری یکپارچه شی‌گرا(C++) برای ایجاد ساختارهای داده‌ها و کدگذاری لازم برای مدل‌های بازیابی اطلاعات است. به نشانی:
/http://www.cs.utk.edu/~lsisoft.html

حاصل سخن

همان‌طورکه در این مقاله عنوان شد روش نمایه‌سازی معنایی پنهان یکی از گام‌های عملی جامعه اطلاع‌رسانی برای تحقق نمایه‌سازی خودکار است که علاوه بر کاربرد در بازیابی اطلاعات، در زمینه‌های مختلفی چون بازخورد ربط، پالایش اطلاعات، بازیابی متنی، بازیابی در متون چندزبانه، مطابقت افراد به جای مدارک، بازیابی متونی که اشکالات چاپی دارند، ابهام زدایی معانی واژه، رده‌بندی آماری، و سنجش میزان تشابه استفاده می‌شود. این روش در کارکردهای خود قابلیت‌های خاصی دارد که مانع از بروز ریزش کاذب، نوفه و اختلال در بازیابی اطلاعات می‌شود و اصولاً برای انجام کارکرد خود نیازی به ساختار دستوری و نحوی یک زبان ندارد و حتی قادر به بازیابی اطلاعات غیرمتنی چون جدول‌ها، تصاویر نیز هست که این قابلیت‌ها در سایر روش‌های نمایه‌سازی نادر هستند. از دیگر نقاط قوت این روش باز بودن جای بحث و پژوهش در این زمینه است که مراکز پژوهشی مختلفی در دانشگاه‌های معتبر جهان چون تلکردیا، کلرادو، و تنسی به پژوهش در زمینه رویکردها و ابعاد مختلف این روش نمایه‌سازی مشغول هستند. همان‌طورکه مطرح شد در ایران نیز در زمینه استفاده از این روش در بازیابی متون فارسی کار شده است که نتایج قابل‌توجهی در برداشت که امید می‌رود در زمینه سایر کارکردهای این روش نمایه‌سازی در زبان فارسی نیز پژوهش شود.

منابع

۱. بشیری، حسن. «بررسی مدل فازی و ارزیابی نمایه‌سازی معنایی پنهان در بازیابی متون فارسی». پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۳.

2.Anderson, J. D.; Perez-Carballo, J. "The nature of indexing: how humans and machines analyze messages and texts for retrieval. Part I: Research, and the nature of human indexing". ***Information Processing and Management***, No. 37 (2001): 231–254.

3.Ibid. "The nature of indexing: how humans and machines analyze messages and texts for retrieval. Part II: Machine indexing, and the allocation of human versus machine effort". ***Information Processing and Management***, No. 37 (2001): 255–277.

4.Ando, R.; Lee, L. "Iterative residual rescaling: An analysis and generalization of LSI". *In Proceedings* of the 24th ACM Conference on Research and Development in Inforfmation Retrieval, 2001, pp: 154–162

5.Baeza-Yates, R.; Ribeiro-Neto, B. ***Modern Information Retrieval***. [s. l.]: Addison-Wesley, 1999.

6.Baker, L.; McCallum, A. "Distributional

69.Michael Berry
70.GTP = General Text Parser
71.Howard, Tang, Berry & Martin

7.Bartell, G. C.; Cottrell, G. W.; Belew, R. "Representing documents using an explicit model of their similarities". ***Journal of the American Society for Information Science***, No. 46 (1995): 251–271.

8.Baziz, M.; Boughanem, M.; Aussenac-Gilles, N. "Semantic networks for a conceptual indexing of documents in IR". *Presented in* 7th ISPS Algeters May 2005.

9.Berry, M. W.; Dumais, S. T.; O'Brien, G. W. "Using linear algebra for intelligent information retrieval". ***SIAM Review***, Vol. 37, No. 4 (1995): 575–595. [on-line]. Available: http://www.citeseer.nj.nec.com/berry95using.html.

10.Borner, K. "Extracting and visualizing semantic structures in retrieval results for browsing". *Paper presented at* the ACM Digital Libraries, San Antonio, Texas, (27 June 2000): 234-235.

11.Borner, K.; Dillon, A.; Dolinsky, M. "LVis - Digital Library Visualizer". *Paper presented at* the Information Visualisation 2000, Symposium on Digital Libraries, London, England, 2000, pp: 77-81.

12.Borner, K; Chen, C.; Boyack, K. "Visualizing knowledge domains". ***Annual review of information and technology***, Vol. 37 (2003).

13.Brewer, E. *Invited talk*, PODS-SIGMOD, 1997.

14.Chen, C. "Tracking latent domain structures: An integration of Pathfinder and Latent Semantic Analysis". ***AI & Society***, Vol. 11, No. 1-2 (1997): 48-62

15.Ibid. "Visualizing semantic spaces and author co-citation networks in digital libraries". ***Information Processing and Management***, Vol. 35, No. 2 (1999): 401-420.

16.Chen, C. M.; Paul, R. J. "Visualizing a knowledge domain's intellectual structure". ***IEEE Computer***, Vol. 34, No. 3 (2001): 65-71. [on-line]. Available: http://www.pages.drexel.edu/~cc345/papers/computer. html .

17.Cheng, B. "Towards Understanding Latent Semantic Indexing". 2005.[on-line]. Available: http://www.cs.ualberta.ca/TechReports/2003/ TR03-03/TR03-03.pdf.

18.Deerwester, S. C. … [et al]. "Indexing by latent semantic analysis". ***Journal of the American Society of Information Science***, Vol. 41, No. 6 (1990): 391–407. [on-line]. Available: http://www.citeseer.nj.nec.com/deerwester 90indexing.Html.

19.Ding, C. H. Q. "A similarity-based probability model for latent semantic indexing". *In Proceedings* of the twenty-second annual international ACM/SIGIR conference on research and development in information retrieval, 1999, pp: 59–65.

20.Ibid. "Improving the retrieval of information clustering of words for text classification". *In Proceedings* of the 21st ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval, 1998.

word sense disambiguation using neural networks". ***Neural Computation***, No. 3 (1991).

29.Hull, D. "Improving text retrieval for the routing problem using latent semantic indexing". *In Proceedings* of the 17th ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval, 1994, pp: 282-290.

30.Husbands, P.; Simon, H.; Ding, C. "Term norm distribution and its effects on latent semantic indexing". ***Information Processing and Management***, No. 4 (2005): 777-787.

31.Joliffe, I. T. ***Principal Component Analysis***. New York: Springer-Verlag, 1986.

32.Kleinberg, J. "Authoritative sources in a hyperlinked environment", *In Proceedings* ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 1998.

33.Kontosthathis, A.; Pottenger, W. M. "A framework for understanding Latent Semantic Indexing (LSI) performance". ***Information Processing and Management***, No. 42 (2006): 56–73.

34.Korn, F. … [et al]. "Ratio rules: a new paradign for fast, quantifiable data mining", *In Proceedings.* VLDB, 1998, pp: 582-593.

35.Landauer, T. K.; Littman, M. L. "Fully automatic cross-language document retrieval using latent semantic indexing", *In Proceedings* of the 6th Annual Conference

mation from external sources. Behavior Research Methods", ***Instruments,Computers***, Vol. 23, No. 2 (1991): 229-236.

21.Ibid. "Latent semantic indexing (LSI) and TREC-2". In D. Harman (Ed.), ***The Second Text Retrieval Conference (TREC-2)*** (1994): 105–116. [on-line]. Available: citeseer.nj.nec.com/19248.html.

22.Dumais, S. T. "LSI meets TREC: A status report". In D. Harman (Ed.), ***The First Text Retrieval Conference (TREC-1)*** (1992):137–152. [on-line]. Available: citeseer.nj.nec.com/dumais93lsi.html.

23.Ibid. "Using LSI for information filtering: TREC-3 experiments". In D. Harman (Ed.), ***The Third Text Retrieval Conference (TREC-3)*** (1995): 219–230.

24.Fagin, R. "Combining fuzzy information from multiple sources", ***In Proceedings***. 1996 PODS, 1996, pp: 216-223.

25.Flickner, M. … [et al]. "Query by image and video content: The QBIC system". ***IEEE Computer***, No. 28 (1995): 23-32.

26.Fuhr, N. "Probabilistic models of information retrieval". ***IEEE Computer***. No. 35 (1992): 244-255.

27.Furnas, G.W. ... [et al]. "Information retrieval using a singular value decomposition model of latent semantic structure", ***In Proceedings of SIGIR***, 1988.

28.Gallant, I. A. "practical approach for representing contexts and for performing

of the UW Centre for the New Oxford English Dictionary and Text Research, UW Centre for the New OED and Text Research, Waterloo Ontario, 1990.

36.Landuer, T. K.; Laham, D.; Derr, M. "Collaquium paper mapping knowledge domains: from paragraph to graph: latent semantic analysis for information visualization". ***Proceedings National of Academic Science USA***, Vol. 101, Supplement 1 (6 Apr. 2004): 5214–5219.

37."Latent Semantic Indexing". [on-line]. Available: http://lsi. argreenhouse.com/lsi/ LSIpapers.html

38.Papadimitriou, C. … [et al]. "Latent semantic indexing: A probabilistic analysis". ***Journal of Computer and System Sciences***, No. 61 (2000): 217-235.

39.Pulgarin, A.; Gil-Leiva, I. "Bibliometric analysis of the automatic indexing literature: 1956–2000". ***Information Processing and Management***, No. 40 (2004): 365–377.

40.Rijsbergen, C. J. Van. ***Information retrieval***. London: Butterworth, 1979.

41.Rosario, B. "Latent semantic indexing: an overview". *INFOSYS* ***240***, 2000. [online]. Available: http://www.cse.msu.edu/ ~cse960/ Papers/ LSI/LSI.pdf.

42.Salton, G.; McGill, M. ***Introduction to Modern Information Retrieval***. New York: Mac-Graw Hill, 1983.

43.Salton, G.; Yang, C.; Wong, A. "A vector space model for automatic indexing". ***Communications of the ACM***, Vol. 18, No. 11 (1975): 613-620.

45.Ibid. "Automatic word sense discrimination". ***Computational Linguistics***, Vol.

44.Schutze, H. "Dimensions of meaning". ***In Proceedings of supercomputing***, 1992. 24, No. 1 (1998): 97-124.

46.Story, R. E. "An explanation of the effectiveness of latent semantic indexing by means of a Bayesian regression model". ***Information Processing and Management***, Vol. 32, No. 3 (1996): 329-344.

47.Wiemer-Hastings, P. "How latent is latent semantic analysis?" ***In Proceedings of the sixteenth international joint conference on artificial intelligence***, 1999, pp: 932-937.

48.Wu … [et al]. "Neural Networks for full-scale protein sequence classification: Sequence encoding with SVD". Machine Learning, 1994. [Research project].

49.Yang, Y. "An evaluation of statistical approaches to text categorization". ***Journal for Information Retrieval***, No. 1 (1999): 9-90.

50.Yang Y.; Chute, C. G. "An application of least square fit mapping to text information retrieval". ***In Proceedings of ACM-SIGIR Conference***, 1993.

51.Young, P.G. "Cross-Language Information Retrieval Using Latent Semantic Indexing". Master's thesis, The University of

thirteenth symposium on the interface, 1998, pp: 315–320.

54.Zha, H.; Marques, O.; Simon, H. "A subspace-based model for information retrieval with applications in latent semantic indexing". *In Proceedings* of the Irregular 98, Lecture notes in computer science, Vol. 1457 (1998): 29-42.

55.Zhu, D.; Porter, A. L. *Automated extraction and visualization of information for technological intelligence and forecasting. Technological Forecasting and Social Change*, 2002.

Knoxville, TN, 1994.

52.Zelikovitz, S.; Hirsh, H. "Using LSI for text classification in the presence of background text". *In* H. Paques, L. Liu, & D. Grossman (Eds.), ***Proceedings of CIKM-01, tenth ACM international conference on information and knowledge management***, 2001, pp: 113–118. New York: ACM Press. [on-line]. Available: http://www.citeseer.nj.nec.com/zelikovitz01using.html.

53.Zha, H.; Simon, H.. "A subspace-based model for latent semantic indexing in information retrieval". *In Proceedings* of the