

بناام خدا



هوش مصنوعی از طریق شبکه‌های جمعی

تهیه شده توسط جعفر محمدی

پائیز ۸۹

چکیده

در این مستند به بررسی پیشنهاد شبکه‌های جمعی به عنوان ابزاری برای توسعه سیستم‌های هوشمند مصنوعی خواهیم پرداخت. شبکه‌های جمعی در سالیان اخیر به عنوان بستر مناسبی برای فعالیت‌های جمعی افراد در راستای برآورده ساختن اهداف مختلف مطرح شده‌اند. واژه‌های «جمع‌سپاری» و «هوش جمعی» نیز که به این فعالیت‌های گروهی دلالت دارند، جزو واژه‌های محبوب، به ویژه در دنیای اینترنت شده‌اند. فراگیر شدن این مفاهیم و نتایج شگرفی که در بسیاری از موارد بوجود آورده‌اند، این باور را در بسیاری از کارشناسان بوجود آورده است که تجارت و در حالت کلی‌تر فعالیت‌های آینده از جنس «جمعی» خواهد بود.

این رویکرد جدید تا کنون نقش فعالی در زمینه‌های تجارت و مدیریت باز کرده است، ولی کاربردهای آن در حوزه هوش مصنوعی بسیار اندک بوده است. مهم‌ترین دلیل آن را می‌توان پیچیدگی بیشتر این کاربردها دانست. ارائه چارچوب مناسبی برای بکارگیری این شبکه‌ها در راستای فعالیت‌های هوشمند می‌تواند کمک شایانی به این موضوع بکند.

در بسیاری از کاربردهای هوش مصنوعی، وظیفه مورد نظر برای هوشمندسازی می‌تواند به تعداد زیادی زیر وظیفه شکسته شود. این زیر وظیفه‌ها می‌توانند توسط اعضای یک شبکه جمعی حل شوند. تجمیع پاسخ‌های ارائه شده توسط اعضای می‌تواند منجر به ارائه پاسخ کلی وظیفه شود. در کاربردهای هوش مصنوعی این ریز وظایف فراتر از نظردهی یا جمع‌آوری گزارش و غیره بوده و می‌بایست پاسخی درست برای یک مساله واقعی (ولی با اندازه کوچک) ارائه شود. در نتیجه چندین مساله جدید در شبکه‌های جمعی پدیدار خواهند شد. مسائلی نظیر اینکه چه مسائلی می‌توانند با این رویکرد حل شوند؟ چه اعضای از شبکه برای پاسخ دادن به کدام ریز وظایف مناسب‌ترند؟ چقدر می‌توان به یک پاسخ ارائه شده توسط یک عضو اعتماد نمود؟ هر ریز وظیفه باید چگونه و توسط چند نفر حل شوند تا اطمینان حاصل شود که وظیفه نهایی دارای حداقل سطح معینی از اعتبار باشد؟ نحوه مدیریت و سازماندهی ریز وظایفی که مستقل از هم نبوده و دارای وابستگی می‌باشند، باید به چه صورت باشد؟ و ...

در فصل اول این مستند به بررسی «چرایی» روی آوردن به این رهیافت می‌پردازیم و بیان می‌کنیم که چرا این رهیافت می‌تواند در حل مسائلی موفق باشد که تا کنون نه انسان‌ها و نه ماشین‌ها قادر به حل آنها نبوده‌اند. در فصل دوم به بیان چارچوب پیشنهادی جهت اجرای سناریوی مطرح شده فوق پرداخته و مهم‌ترین مشکلات موجود در این چارچوب را شرح می‌دهیم. در فصل‌های آتی نیز به بررسی هر کدام از این مشکلات و نحوه فائق آمدن بر آنها خواهیم پرداخت.

کلمات کلیدی: شبکه جمعی، جمع‌سپاری، مساله ذهن و بدن، فعالیت غیرالگوریتمی، خروجی اشتباه یا نویزی، بازه اطمینان.

فهرست مطالب

۲	۱	مقدمه
۲	۱.۱	محاسبه‌گرایی و مشکلات آن
۸	۱.۲	دیدگاه‌های نوین فلسفی
۹	۱.۳	مدل‌های جدید تجاری
۱۱	۱.۴	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۱۲	۲	چارچوب پیشنهادی

فصل ۱

مقدمه

در این پیشنهاد پژوهشی می‌خواهیم به چرایی و چگونگی ایجاد سیستم‌های هوشمند از طریق شبکه‌های جمعی^۱ بپردازیم. در این فصل به عنوان مقدمه این پژوهش می‌خواهیم به بررسی چرایی این موضوع بپردازیم، اینکه «چرا رهیافت شبکه‌های جمعی می‌تواند رهیافت موثری برای تولید سیستم‌های هوشمند باشد»؟

برای پاسخ‌گویی به این سؤال از سه دید مختلف به واکاوی آن می‌پردازیم. ابتدا به محدودیت‌های محاسبه‌گرایی^۲ به عنوان رویکرد اصلی سیستم‌های هوشمند فعلی پرداخته و ناتوانی‌های ذاتی این رویکرد را در مباحث مربوط به هوش مصنوعی بیان می‌کنیم. در این قسمت همچنین مساله آگاهی^۳ را نیز به عنوان یکی از مسائل مطرح روز بررسی خواهیم کرد. سپس دیدگاه‌های اتصال‌گرایی^۴، نوخاسته‌گرایی^۵ و اطلاعات‌گرایی را به عنوان دیدگاه‌های مطرح در تبیین مسائل مغز و ذهن معرفی کرده و ارتباط رویکرد پیشنهادی را با این دیدگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌دهیم. در انتها نیز رویکرد جمع‌سپاری^۶ را، به عنوان یکی از مدل‌های موثر در آینده تولید و تجارت، معرفی کرده و تطابق رویکرد پیشنهادی را با این مدل مورد بررسی قرار داده و بیان می‌کنیم که این رویکرد چگونه می‌تواند در فضای فعالیت‌های آینده منشاء پیدایش نسل جدیدی از سیستم‌های هوشمند باشد.

۱.۱ محاسبه‌گرایی و مشکلات آن

در این بخش ابتدا محاسبه‌گرایی را به عنوان رویکرد اصلی سیستم‌های هوشمند فعلی معرفی کرده، سپس به بیان محدودیت‌های آن می‌پردازیم. قسمت اول این محدودیت‌ها، ذاتی بوده و قابل برطرف شدن نیستند. قضایای ناتمامیت گودل^۷ اولین آشکارساز این محدودیت‌ها در حوزه علم حساب بودند. مساله توقف تورینگ^۸ و حالت تعمیم یافته آن (قضیه رایس^۹) با الهام از این قضایا، ناتمامیت‌های حوزه علوم کامپیوتر را به خوبی نشان دادند. چیتین^{۱۰} نیز با ارائه ثابت‌های امگا مرزهای این ناتمامیت را بسیار گسترده‌تر نمود.

در کنار این محدودیت‌های ذاتی، مشکلات بفرنج دیگری نیز وجود دارند که حل‌ناپذیری آن‌ها تا کنون به صورت علی‌الاصول ثابت نشده است، ولی تلاش‌های انجام گرفته برای آن‌ها نیز چندان امیدبخش نبوده‌اند و انتظار هم نمی‌رود که در آینده‌ای نزدیک بتوان راه‌حل‌های موثری برای آن‌ها ارائه نمود. مساله آگاهی و مساله پایگاه دانش حس عام^{۱۱} نمونه‌ای از این مسائل هستند که در این بخش به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. در انتهای این بخش نیز به دسته‌بندی مسائلی می‌پردازیم که یا رویکردهای محاسبه‌گرایی به طور ذاتی قادر به حل آن‌ها نیستند، یا جزو مسائل اساسی حل شده فعلی می‌باشند.

^۱Collective Networks

^۲Computationalism

^۳Consciousness

^۴Connectionism

^۵Emergentism

^۶Crowdsourcing

^۷Gödel's incompleteness theorems

^۸Turing's Halting Problem

^۹Rice's Theorem

^{۱۰}Chaitin

^{۱۱}Common Sense Knowledge Base Problem

محاسبه‌گرایی بیان می‌کند که مغز محاسبات پیچیده‌ای را بر روی نمادهای مختلفی انجام داده و از این طریق فرآیندهای رفتاری و حالات ذهنی را بوجود می‌آورد. به بیان ساده‌تر این دیدگاه بیان می‌دارد که مغز انسان اساساً یک کامپیوتر است. این دیدگاه اساس ماشین‌های فعلی و بخش اعظمی از هوش مصنوعی را شامل می‌شود. مناقشه برانگیزترین بخش این تئوری نیز مساله آگاهی است، اینکه بیان می‌شود که محاسبات می‌تواند منجر به تولید آگاهی شود.

سیستم شناختی انسان‌ها شاید شبیه یک ماشین محاسباتی باشد ولی قطعاً دو تفاوت اساسی با یک ماشین مصنوع دارد، یکی اینکه تغییرات آن در طی زمان با روش‌های غیر قابل محاسبه‌ای صورت پذیرفته است، و دیگری اینکه می‌تواند اشتباه کند [۳۹].

ایرادات زیادی به محاسبه‌گرایی وارد است (ولی هیچ کدام از آن‌ها قطعی نیستند). به عنوان مثال این ایرادات در چند دسته مشکلات ریاضی‌وار، مشکلات بازنمایی دانش، قصدمندی، آگاهی و شناخت جاسازی شده یا برخاسته^{۱۴} در مقاله [۳۹] به خوبی تشریح شده‌اند. به عنوان نمونه‌های دیگری از این مقالات می‌توان به [۲۴] [۲۵] [۲۶] [۲۷] [۲۸] اشاره نمود. در اینجا برخی از مشکلات مرتبط‌تر را با توضیحاتی که برای مبحث جاری مفید هستند، ارائه می‌دهیم.

قضایای ناتمامیت گودل در سال ۱۹۳۱ توسط کورت گودل ارائه شد. هدف اصلی این قضایا نشان دادن عدم امکان یافتن اصول موضوعه‌ای سازگار برای کل ریاضیات (مشهور به برنامه هیلبرت^{۱۵}) بود، ولی حاصل آنها نتایج دیگری را به همراه داشت. قضایای ناتمامیت گودل بیان می‌کنند که عبارات درستی در حوزه اعداد طبیعی وجود دارند که درستی آنها قابل اثبات نیست. یا به عبارتی هویت‌هایی در ریاضیات وجود دارند که اگرچه از اصول نظریه اعداد طبیعی تبعیت می‌کنند، اما رفتاری متفاوت از این اعداد دارند. مراحل اثبات این قضایا^{۱۶} عبارتند از [۴۴]:

۱. ساخت یک فرمول حسابی G ، معادل حکم « G : فرمول G قابل اثبات نیست».
۲. بیان اینکه G قابل اثبات است اگر و فقط اگر $\neg G$ قابل اثبات باشد. و این یعنی ناسازگار بودن منطق حساب یا غیر قابل اثبات بودن G (تصمیم‌ناپذیر بودن G).
۳. نشان دادن درست بودن مفهومی G ، علیرغم غیر قابل اثبات بودن آن با استنتاج صوری از اصول حساب.
۴. ناکامل بودن حساب بدلیل هم درست و هم تصمیم‌ناپذیر بودن G .
۵. اثبات اینکه «اگر حساب سازگار باشد، ناکامل است» و در نهایت نشان دادن اینکه «سازگاری حساب قابل اثبات نیست».

در اینجا، از ارائه اثبات این مراحل صرف‌نظر می‌کنیم (برای این منظور می‌توانید به [۴۴] مراجعه نمائید). برای بدست آوردن شهودی از نحوه اثبات این قضایا، در بخش بعد، اثبات مساله توقف تورینگ را ارائه می‌کنیم که از قضایای ناتمامیت گودل الهام گرفته و اثبات آن نیز از لحاظ مفهومی بسیار نزدیک به آنهاست.

این مراحل نشان دهنده این واقعیت هستند که همه حقایق حساب را نمی‌توان از اصول متعارف آن استنتاج کرد. گودل پا را از این نیز فراتر گذاشته و نشان داد که حساب بطور ذاتی ناکامل است و حتی اگر اصولی نیز به گونه‌ای به اصول موضوعه آن اضافه شوند که فرمول درست G بتواند از مجموعه اصول جدید استنتاج شود، باز هم می‌توان فرمول درست ولی تصمیم‌ناپذیر دیگری را برای نشان دادن ناکامل بودن آن ارائه داد.

اهمیت ارائه این قضایا در این است که حقایق را بیان می‌کنند که با دیدگاه‌های قبلی موجود در مورد ریاضیات تناقض دارند. مهم‌ترین وجه آن نیز محدودیت بنیادینی^{۱۵} است که به توان روش اصولی وارد می‌آید. در همین راستا مسائلی را می‌توان مثال زد که از مجموعه اصول حساب قابل استنتاج و اثبات نیستند و مثال نقضی نیز برای آنها ارائه نشده است. به عنوان نمونه‌هایی از این مسائل می‌توان به حدس گولدباخ^{۱۶} (که بیان می‌کند هر عدد زوج مجموع دو عدد اول است) و فرضیه ریمن (که بیان می‌کند که بخش حقیقی غیر صفر خروجی تابع ζ ریمن به ازای هر ورودی برابر ۰.۵ است) اشاره نمود.

مهم‌ترین ایرادی که با دیدی عملکردگرایانه به این قضایا وارد می‌شود این است که عبارتی که گودل اثبات‌های خود را مبتنی بر آن انجام داده است، عبارتی پیچیده و بی‌کاربرد است، در نتیجه نمی‌توان اعتبار چندانی برای این قضایا قایل شد. این اعتراض به دو دلیل وارد نیست. یکی اینکه در سال‌های اخیر عبارات ساده و کاربردی‌ای نیز ارائه شده‌اند که می‌توانند جایگزین عبارت مورد استفاده توسط گودل شوند [۱۵]. دلیل دیگر نیز اینکه این قضایا الهام‌دهنده کارهای بسیار اساسی بعدی از جمله مساله توقف تورینگ، قضیه رایس، ثابت‌های امگا و ... بوده‌اند.

^{۱۴}embodied or embedded cognition

^{۱۵}Hilbert's program

^{۱۶} این مراحل از نسخه قابل فهم‌تری از این قضایا - که توسط آلفرد تارسکی ارائه شده‌اند - اقتباس شده‌اند.

^{۱۵} این محدودیت‌ها به این دلیل بنیادین هستند، چون با اضافه نمودن اصول دیگری نیز به اصول موضوعه، مشکل مطرح شده کماکان وجود خواهد داشت.

^{۱۶}Goldbach's conjecture

ایراد دیگری که توسط مک‌کارتی به قضیه گودل وارد شده است [۱۶] این است که گودل در برهانش تئوری مجموعه‌های مناسی را بکار نمی‌گیرد. مثلاً اگر وی از تئوری مجموعه‌های Zermelo-Fraenkel [۱۳] استفاده می‌کرد، به راحتی قادر بود قضیه گودل را اثبات کند. ایرادی که به این ایراد وارد است این است که تئوری مجموعه‌های ZF طوری طراحی شده است که دارای اصول موضوعه‌ای باشد که از همان ابتدا مانع بیان گزاره‌هایی نظیر گزاره بکار رفته در برهان گودل شود. به نظر می‌رسد که این کار به نحوی پاک کردن صورت مساله باشد. در ضمن این راه حل قابل توسعه به زمینه‌های دیگری که از تئوری مجموعه‌ها استفاده نمی‌کنند (نظیر مساله توقف، قضیه رایس و ثوابت امگا) نیست.

نکته مهمی که در مورد قضیه گودل باید ذکر شود این است که از قضیه گودل این نتیجه یأس‌آور بر نمی‌آید که ذهن انسان محدودیت ذاتی دارد، بلکه نتیجه این است که ذهن بشر بصورت کامل قابل فرموله کردن نیست [۴۴].

مساله توقف تورینگ توسط آلن تورینگ در سال ۱۹۳۶ ارائه شد. همانگونه که دیدیم، عبارتی که گودل در اثبات خود بکار می‌برد، واقعیت خاصی را در مورد خود آن عبارت مورد سوال قرار می‌دهد. تورینگ با الهام از این واقعیت، مساله توقف را پایه‌ریزی کرد^{۱۷}. وی ثابت کرد که هیچ ماشین تورینگی نمی‌تواند در مورد توقف یا عدم توقف ماشین تورینگ دیگری اظهار نظر کند [۱۱] (مساله توقف یک دستگاه تورینگ تصمیم‌ناپذیر است). این نتیجه بعدها توسط Rice به قضیه‌ای با همین نام تعمیم یافت که بیان می‌کند که «هر خاصیت غیربديهی در باره زبانی که توسط یک ماشین تورینگ پذیرفته می‌شود، تصمیم‌ناپذیر است [۶]». یا به عبارتی ساده‌تر «هر سوال غیر بديهی در باره رفتار یا خروجی یک ماشین تورینگ تصمیم‌ناپذیر است».

در ادامه این بخش، نسخه قابل فهم‌تری از اثبات مساله توقف را بصورت خلاصه ارائه می‌دهیم. برای این منظور از برهان خلف استفاده می‌شود:

الف) فرض می‌کنیم مساله توقف‌پذیری یک ماشین تورینگ تصمیم‌پذیر باشد و ماشین تورینگ H وجود داشته باشد که بتواند در مورد توقف‌پذیری ماشین تورینگ p با ورودی i بصورت زیر اظهار نظر کند:

- $h(p,i)=true$ یعنی اینکه p با ورودی i متوقف می‌شود.
- $h(p,i)=false$ یعنی اینکه p با ورودی i متوقف نمی‌شود.

ب) تابع $t(i)$ را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

```
Program t(input i)
  if h(i,i)=0
    stop;
  else
    loop forever;
```

پ) می‌خواهیم بررسی کنیم که ماشین تورینگ t با ورودی t متوقف می‌شود یا خیر؟

- اگر $t(t)$ متوقف شود، آنگاه طبق الف) $h(t,t) = true$ خواهد شد و طبق ب) می‌بینیم که t هرگز متوقف نخواهد شد.
- اگر $t(t)$ متوقف نشود، آنگاه طبق الف) $h(t,t) = false$ خواهد شد و طبق ب) ماشین تورینگ t باید متوقف شود.

در هر دو حالت فوق به تناقض می‌رسیم؛ پس طبق برهان خلف، فرض در نظر گرفته شده الف) نادرست بوده و مساله تصمیم‌پذیری یک ماشین تورینگ تصمیم‌ناپذیر است.

دلیل اصلی اهمیت ماشین تورینگ در تز Church-Turing نهفته است. این تز بیان می‌کند که یک تابع قابل محاسبه است اگر و فقط اگر بوسیله ماشین تورینگ قابل محاسبه باشد [۱۹] [۲۰]. یا هر عمل قابل محاسبه‌ای (الگوریتم‌واری) توسط یک ماشین تورینگ قابل انجام است. با توجه به اینکه کامپیوترهای امروزی فقط قادر به انجام اعمال الگوریتمی هستند، پس از این تز نتیجه می‌شود که قدرت محاسباتی یک ابر کامپیوتر امروزی با قدرت ماشین تورینگ برابر است [۱۵]. این تز بدون اثبات دارای پذیرشی تقریباً جهانی است. با این حال اخیراً تلاش‌هایی نیز برای اثبات آن انجام گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به [۲۱]، [۲۲] و [۲۳] اشاره نمود.

از این قضایا نتیجه می‌شود که اظهار نظر غیر بديهی در مورد رفتار یا عملکرد یک الگوریتم (ماشین تورینگ) یک فعالیت غیرالگوریتمی است. در

^{۱۷} هم قضایای گودل و هم مساله توقف تورینگ، هر دو، دارای منشا الهامی واحدی هستند: ایده Diagonal Slash که کانتور برای اثبات نامشمار بودن مجموعه اعداد حقیقی بکار برد [۱۵].

^{۱۸} ماشین تورینگ i یعنی آیین ماشین تورینگ در مجموعه شمارای همه ماشین‌های تورینگ (برای اثبات شمارا بودن مجموعه همه ماشین‌های تورینگ مثلاً به [۱۵] و [۴۰] مراجعه نمائید).

نتیجه از یک کامپیوتر که ساختار آن بر این اساس پی‌ریزی شده است که بتواند یک فعالیت الگوریتمی را انجام دهد، نمی‌توان انتظار انجام بسیاری از فعالیت‌های لازم برای هوشمندی را داشت. این نتیجه محدودیت بسیار شدیدی را از کامپیوترهای امروزی نشان می‌دهد.

مک‌کارتی در [۱۶] معتقد است که هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر دارای محدودیت ذاتی نیستند، چون منطق قابلیت نمایش همه آن مواردی را دارد که به عنوان محدودیت برای هوش مصنوعی مطرح هستند. وی معتقد است که در حال حاضر ضعف از الگوریتم‌ها نیست، از داده‌ها و دانش مورد نیاز است که به خوبی توسط انسان‌ها تامین نمی‌شود. ایرادی که به این ادعا وارد است این است که مک‌کارتی بخش درک مساله را که باید آن هم توسط کامپیوتر انجام شود، به انسان واگذار کرده است که چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. در این مورد در بخش‌های بعد بیشتر صحبت خواهیم کرد.

شواهد دیگری نیز برای نشان دادن غیرالگوریتمی بودن فعالیت‌های انسانی وجود دارد. البته دلیل اینکه اثبات محکمی برای این شواهد نمی‌تواند ارائه شود، در اینجا خیلی به آنها نمی‌پردازیم یکی از این شواهد نشان می‌دهد که تفکر عملی غیر الگوریتمی است. در تفکرات انسان‌ها کلمات جایی ندارند و آنها فقط برای بیان اتفاق‌هایی که رخ می‌دهند، از کلمات استفاده می‌کنند. یک انسان هیچ وقت نمی‌تواند تمام آنچه که در ذهن‌اش اتفاق می‌افتد را بیان کند. این شهود و توجه به این نکته که بیان الگوریتمی با کلمات اتفاق می‌افتد، می‌تواند نشان دهنده این امر باشد که تفکر انسان غیر الگوریتمی است.

ثابت‌های امگا مبحث دیگری هستند که با بهره‌گیری از مساله توقف در این حوزه مطرح شده‌اند. قبل از شروع این مبحث، به یادآوری تعریف محاسبه‌ناپذیری اعداد حقیقی می‌پردازیم. بخش اعشاری اعداد حقیقی‌ای، نظیر π یا $\sqrt{2}$ می‌تواند توسط یک الگوریتم تولید شود. به این اعداد محاسبه‌پذیر^{۱۹} گفته می‌شود. در مقابل این دسته، اعداد محاسبه‌ناپذیر هستند که رقم‌های آنها توسط روش‌های الگوریتمی قابل محاسبه نیستند. به عنوان نمونه‌ای از این دسته، می‌توان به عدد دودویی‌ای اشاره نمود که صفر یا یک بودن n امین رقمش معادل توقف یا عدم توقف n امین ماشین تورینگ در مجموعه شمارای همه ماشین‌های تورینگ باشد.

مجموعه تمامی ماشین‌های تورینگ شمارا هستند [۱۵]. با فرض اینکه هر ماشین تورینگ یک خروجی حقیقی تولید کند، ماشین‌های تورینگ فقط قادر به تولید تعداد شمارایی اعداد حقیقی، به عنوان خروجی، هستند. از آنجایی که تعداد کل اعداد حقیقی نامشمارا هستند، پس تعدادی عدد حقیقی هستند که نمی‌توانند خروجی هیچ ماشین تورینگی باشند (محاسبه‌ناپذیر هستند) اعداد محاسبه‌ناپذیر نقش مهمی را در نمایش ناتمامیت علم بازی می‌کنند. نمونه‌ای از این اعداد ثابت‌های چیتین^{۲۰} (امگا) هستند [۹].

سر منشأ ثابت امگا نیز به مساله توقف تورینگ بر می‌گردد. احتمال توقف یک ماشین تورینگ که به تصادف از بین همه ماشین‌های تورینگ انتخاب شود، چقدر است؟ چیتین این احتمال را Ω (امگا) نامید. در ابتدا محاسبه Ω و حتی فرموله کردن مساله آن غیر ممکن می‌نمود، ولی این کار با یافته ارائه شده در مقاله [۱۲] مبنی بر اینکه می‌توان عملیات هر ماشین تورینگ را به یک معادله دیوفانتی ترجمه کرد، امکان‌پذیر شد. در این مقاله همچنین نشان داده شد که توقف هر ماشین تورینگ معادل داشتن جواب طبیعی معادله دیوفانتی متناظر آن ماشین می‌باشد (بدیهی است که مساله داشتن یا نداشتن جواب طبیعی یک معادله دیوفانتی، تصمیم‌ناپذیر می‌باشد). چیتین با استفاده از معادلات دیوفانتی توانست مساله محاسبه Ω را فرموله کرده و سپس نشان دهد که Ω محاسبه‌پذیر نیست. نشان داده شده است که در صورت امکان محاسبه Ω ، می‌توان مسائلی نظیر حدس گلدباخ و فرضیه ریمان را نیز حل نمود.

کار به همین جا ختم نمی‌شود. چیتین سوپر امگاها را نیز مطرح نمود که درجه تصادفی بودن آنها بسیار بالاتر از Ω است. اگر یک کامپیوتر خداگونه^{۲۱} وجود داشته باشد که قادر به حل مساله توقف بوده و بتواند Ω را محاسبه کند، باز هم یک احتمال توقف (Ω') برای این کامپیوتر وجود خواهد داشت. این روند کماکان ادامه خواهد داشت و احتمال‌های توقف برای کامپیوترهای قوی‌تر و قوی‌تر نیز مطرح خواهد بود. لازم به ذکر است که این امگاها صرفاً ثابت‌های ریاضی بی‌معنی نیستند. به عنوان مثال مفهوم سه امگای اول از رشته امگاها، بصورت زیر توسط چیتین ارائه شد:

- Ω : احتمال توقف یک ماشین تورینگ به تصادف انتخاب شده.
- Ω' : احتمال تولید تعدادی متناهی خروجی توسط یک سری محاسبات نامتناهی.
- Ω'' : احتمال fail کردن یک سری محاسبات نامتناهی در تولید خروجی.

وجود این رشته امگاها نشان می‌دهد که هرگز نمی‌توان کامپیوتری ساخت که بتواند همه چیز را محاسبه کند.

مساله آگاهی یکی از مسائل باز و مطرح فعلی در دنیای هوش مصنوعی می‌باشد. برای مطرح کردن این مساله ابتدا به تعریف آگاهی در فلسفه ذهن می‌پردازیم. تعریف یکسان و واحدی برای آگاهی، که دارای پذیرش جهانی باشد، وجود ندارد. آگاهی برای یک موجود در ساده‌ترین تعریف خود، عبارت است از داشتن حالت ذهنی «حس آن موجود بودن». معتبرترین تعریف نیز برای آگاهی در مساله سخت آگاهی^{۲۲} نهفته است که توسط

^{۱۹}computable

^{۲۰}Chaitin's constants

^{۲۱}omnipotent

^{۲۲}The hard problem of consciousness

چالمرز در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است. مساله سخت آگاهی این است که چگونه می‌توان مکانیزم فیزیکی را با تجربه ذهنی هوشیاری تطبیق دهیم. چگونه فرآیندهای فیزیکی در مغز به تجارب ذهنی مرتبط می‌شوند؟ بسیاری بر این باورند که تجارب ذهنی از پایه‌های فیزیکی برمی‌خیزند، در حالی که هیچ تبیینی برای چگونگی این برخاستن وجود ندارد. [۲۹] تعریف مطرح دیگری برای آگاهی تئوری تفکر یا درک مرتبه بالاتر^{۲۳} می‌باشد که توسط روزنتال و درتسکی ارائه شده‌اند. طبق این تئوری آگاهی عبارت است از بازنمایی حالات ذهنی یا رفتاری یک سطح در سطحی بالاتر.

توجه داشته باشیم که باید بین آگاهی و همبسته‌های عصبی آگاهی^{۲۴} تفاوت قائل شویم. به عنوان مثال آگاهی علی‌الاصول قابل اندازه‌گیری نیست ولی می‌توان ادعا نمود که همبسته‌های عصبی آن را می‌توان اندازه گرفت [۳۰].

دلیل اهمیت آگاهی در این است که دانشمندانی نظیر جان سرل یا بن‌روز معتقدند که تعریف هوشمندی بدون ذکر آگاهی ناقص است و حضور توام تفکر (رفتار) و آگاهی است که هوشمندی را می‌سازد [۱۵]. البته فارغ از تعریف هوشمندی، مساله آگاهی مصنوعی یا بوجود آوردن عامل‌های آگاه، اخیراً توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است.

مطرح‌ترین دیدگاهی که در تبیین آگاهی و برخاستن آن از پایه‌های فیزیکی وجود دارد از دیدگاه‌های اتصال‌گرایی و نوخاسته‌گرایی بهره می‌برد. در این دیدگاه‌ها ادعا می‌شود که آگاهی ویژگی هیچ کدام از نرون‌های مغز به تنهایی نیست، بلکه یک ویژگی کل‌نگرانه است که از ارتباط و همکاری بین نرون‌ها نشأت می‌گیرد، در حالی که سیستم به حد معینی از پیچیدگی برسد. با بهره‌گیری از این دیدگاه مقاله [۳۴] به بررسی امکان آگاهی مصنوعی پرداخته است. در این مقاله حدی از پیچیدگی که در آن ارتباط بین نرون‌ها منجر به بوجود آمدن آگاهی می‌شود، معادل پیچیدگی (تعداد و میزان ارتباطات نرون‌ها) مغز انسان در نظر گرفته شده است. و بیان شده است که پیاده‌سازی این تعداد نرون و ارتباطات بین آن‌ها در صورتی محقق خواهد شد که حافظه کامپیوترها به سطح معینی برسد. پیش‌بینی این مقاله طبق قوانینی نظیر قانون مور این است که در حدود بیست سال آینده به این سطح از حافظه در کامپیوترها خواهیم رسید و متعاقباً نیز بوجود آورد آگاهی مصنوعی امکان‌پذیر خواهد شد. پیش‌بینی‌های مشابهی توسط برخی دیگر از نویسندگان نیز ارائه شده است. از جمله [۳۵] [۳۶] و [۳۷].

نماینده مناسبی برای دیدگاه فیزیک‌گرایی در این حوزه نیز دانیل دنت می‌باش. دنت معتقد است که ساخت یک مغز مصنوعی اساساً به همان اندازه امکان‌پذیر است که ساخت یک قلب مصنوعی، فقط این کار بسیار بسیار سخت‌تر است. از طرفی وی آگاهی را محصول مستقیم مغز می‌داند و معتقد است که اگر یک کپی سلول به سلول از یک نفر ساخته شود، احتمالاً! است که فکر کنیم که آن کپی نتواند همانند اصل خود آگاهی داشته باشد! [۳۲]

با این وجود بسیاری دیگر از دانشمندان نیز هنوز یا هیچ تبیین قابل قبولی را نیافته‌اند یا معتقدند که یافتن چنین تبیینی با ابزارهای امروزی امکان‌پذیر نیست.

البته تلاش‌هایی نیز برای شبیه‌سازی آگاهی در سطح سیستم‌های کامپیوتری صورت گرفته است که تلاش می‌کنند سیستم‌هایی را بسازند که آگاهی نداشته باشد، ولی قادر به شبیه‌سازی آن باشد. بن‌روز چنین تلاش‌های را از پایه نادرست می‌پندارد و معتقد است که نمی‌توان موجودی ساخت که خودآگاه نباشد ولی از دید یک کاربر بیرونی معادل یک موجود خودآگاه عمل (فکر) کند. چون خودآگاهی ضرورتاً خود را در برخی از اعمال (یا تفکرات) آشکار می‌سازد.

مساله پایگاه دانش حس عام بیان می‌دارد که چگونه می‌توان تمامی حقایقی که یک آدم می‌داند را ذخیره کرده و به آن دسترسی پیدا کرد [۴۳]؟ این مساله در حوزه هوش مصنوعی توسط ماروین مینسکی در سال ۱۹۹۲ مطرح شد. مینسکی در [۸] به بررسی وضعیت هوش مصنوعی می‌پردازد. یکی از دلایلی که وی برای پیشرفت‌های کند در زمینه‌هایی نظیر درک زبان طبیعی بیان می‌کند این است که کامپیوترها به معانی کلمات و اشیاء، به آن صورتی که انسان‌ها می‌فهمند، دسترسی ندارند. وی برای تشریح این واقعیت واژه «ریسمان» را مثال می‌زند. یک انسان به آسانی می‌فهمد که می‌توان با ریسمان چیزی را «کشید»، ولی نمی‌شود چیزی را «هل داد». با یک ریسمان می‌شود چیزی را «بسته‌بندی کرد» ولی نمی‌توان آن را «خورد» و ... یک نوجوان می‌تواند در چند دقیقه صدها کاربرد یا عدم کاربرد ریسمان را برای شما بازگو کند ولی یک کامپیوتر قادر به انجام حتی بخشی از این کار نیست. حال کافی است به جای ریسمان صدها هزار کلمه و مفهوم دیگری را در نظر بگیرید که می‌شناسید. اگر کامپیوتری بخواهد زبان طبیعی را درک کند باید چنین درکی از تمامی این کلمات و مفاهیم و ارتباط بین آنها داشته باشد، که ندارد.

این امر برای سایر کاربردها (به جز درک زبان طبیعی) نیز صادق است. مثلاً کاربرد بینایی ماشین و مساله تشخیص شیء صندلی را در نظر بگیرید. یک انسان برای درک صندلی نیازی ندارد که حتماً شیء متعارفی را ببیند که دارای چهار پایه و یک پشتی است، وی با دیدن یک صندلی با هر تعداد پایه و یا داشتن و یا نداشتن پشتی یا ... قادر است صندلی را تشخیص دهد. وی برای این منظور از درک صندلی و کاربردهای و همچنین ارتباط آن با سایر اشیای دنیا که در ذهن وی شکل گرفته است، بهره می‌برد. اگر کامپیوتر نیز بخواهد که بینایی داشته باشد باید چنین درکی از تمامی اشیاء و ارتباط بین آنها داشته باشد، که ندارد.

مینسکی از این مشکل تحت عنوان «نبود پایگاه دانش حس عام» نام می‌برد. این مشکل دارای وجوه مختلف زیر است [۴۱] [۴۲]:

^{۲۳} Higher Order Thought or Higher Order Perception Theory

^{۲۴} Neural Correlates of Consciousness

۱. ساخت چنین پایگاه دانشی از لحاظ حجم کاری مورد نیاز عملاً غیر ممکن است.
 ۲. با فرض انجام‌پذیر بودن این کار، پیدا کردن روشی برای نمایش^{۲۵} مناسب این دانش بسیار مشکل است.
 ۳. بروز رسانی تغییرات در دانش و دنبال کردن تمامی حقایقی که بوسیله تغییرات تأثیر می‌پذیرند، مشکل است.
 ۴. طراحی و توسعه سیستمی که بتواند از این پایگاه دانش استفاده کند، اگر ناممکن نباشد، حداقل بسیار سخت است.
- مینسکی همچنین بیان می‌کند که برنامه‌های کامپیوتری وجود دارند که بتوانند شطرنج بازی کنند، یا یک تصویر متنی را به متن تبدیل کنند، ولی هیچ برنامه شطرنجی وجود ندارد که بتواند کار تبدیل متن را انجام دهد، یا اینکه هیچ برنامه تبدیل متنی نمی‌تواند شطرنج بازی کند. وی مهم‌ترین دلیل این امر را عدم استفاده برنامه‌های مختلف از یک پایگاه دانش حس عام می‌داند.
- واقعیتی که وجود دارد این است که مساله حس عام هنوز هم به عنوان یک مشکل اساسی در راه پیشرفت هوش مصنوعی وجود دارد و تلاش‌ها در این زمینه چندان موفق نبوده است.

مسائل ناتمام علوم کامپیوتر. در این بخش به این موضوع پرداختیم که هوش مصنوعی دارای محدودیت‌های بنیادین و ذاتی است. این محدودیت‌ها فقط دارای جنبه‌های تئوری نیستند و کاربردهای عملی زیادی از آنها متاثر هستند. در اینجا می‌خواهیم مهم‌ترین مشکلات موجود در این زمینه را دسته‌بندی نموده و به ارائه نمونه‌های عملی از مسائل موجود در این دسته بپردازیم.

این دسته‌بندی شامل دو دسته کلی می‌باشد. دسته اول مسائلی که علی‌الاصول توسط تکنولوژی فعلی قابل حل نیستند، و دسته دوم مسائلی که ثابت نمی‌شود که غیر قابل حل‌اند، ولی افق روشنی برای حل آنها وجود ندارد. در دسته‌بندی زیر منظور از یک عمل سطح بالاتر در مورد یک «چیز» مواردی نظیر درک، تحلیل، اظهار نظر یا قضاوت در مورد آن «چیز» مد نظر می‌باشد. مسائلی که علی‌الاصول توسط هوش مصنوعی قابل حل نیستند عبارتند از:

۱. **مسائلی که فرآیند انجام آنها غیر الگوریتمی است.** برخی از این مسائل غیر الگوریتمی به راحتی توسط انسان‌ها قابل حل هستند و برخی دیگر برای انسان‌ها نیز ناشناخته‌اند. مسائلی نظیر مساله به ظاهر ساده غیربازگشتی تصمیم‌گیری در مورد قابل پوشش بودن یا نبودن یک سطح مسطح اقلیدسی با استفاده از کاشی‌های پوشاننده^{۲۶} [۱۵]، تبدیل بدون خطای گفتار یا تصاویر متنی به متن، تگ کردن و حاشیه‌نویسی تصاویر و سایر مستندات چندرسانه‌ای، تحلیل عواطف موجود در یک متن، تصویر یا صدا، مشکل شرایط آب‌وهوایی کره زمین و ... نمونه مسائلی از این دسته می‌باشند.
۲. **فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد خود آن ماشین دارند.** به عنوان درک گیر افتادن در حلقه بی‌نهایت پس از مدت زمان قابل قبولی و توقف فعالیت جاری، نمونه‌ای از کارهایی است که انسان به راحتی می‌تواند انجام دهد، ولی یک ماشین هرگز قادر به انجام آن نیست، زیرا نمی‌تواند بصورت غیر استنباطی^{۲۷} به یک حالت سطح پایین‌تر توجه کند^{۲۸}.
۳. **فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد ماشین‌های دیگر دارند.** نمونه خیلی واضحی از این دسته مسائل، قضاوت در مورد مناسب بودن یا نبودن یک الگوریتم کامپیوتری برای حل یک مساله مشخص می‌باشد. تست بتای نرم‌افزارها هم نمونه خوب دیگری می‌باشد. هیچ کامپیوتری نمی‌تواند تست‌های غیر بدیهی را در مورد یک نرم‌افزار بتا انجام دهد.
۴. **فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد انسان‌ها دارند.** ارزیابی رفتار انسان‌ها، قضاوت‌های حقوقی، ارزیابی اثرات هنری و ... نمونه‌ای از این دسته مسائل می‌باشند.
۵. **فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد مفاهیم و حقایق کلی موجود در جهان دارند.**

مسائلی که ثابت نمی‌شود که غیر قابل حل هستند ولی افق روشنی برای حل آنها در آینده نزدیک وجود ندارد عبارتند از:

۱. **مسائلی که برای انجام آنها نیاز به پایگاه دانش حس عام می‌باشد.** مسائلی نظیر تشخیص اشیا و فهم زبان طبیعی نمونه‌هایی از این دسته می‌باشند.

^{۲۵}representation

^{۲۶}nonrecursive tiling

^{۲۷}noninferential

^{۲۸}روزنتال نشان می‌دهد که توجه استنباطی به یک حالت سطح پایین‌تر مستلزم دوری بودن است.

۲. **فعالیت‌هایی که نیاز به درک محیط یا مساله دارند.** در کامپیوترهای امروزی، یک عامل بیرونی وجود دارد که اطلاعات مورد نیاز یک مساله را پردازش کرده و آنها را به فرمی در می‌آورد که توسط کامپیوتر قابل دریافت و پردازش باشند (یک مدل انتزاعی و در بسیاری از موارد ناکامل از مساله را برای کامپیوتر فراهم می‌کند که با درک خود مساله توسط کامپیوتر تفاوتی بنیادین دارد). سپس کامپیوتر اقدام به حل مساله با توجه به آن ورودی‌ها می‌کند. البته در این مرحله نیز کامپیوترها محاسباتی را که به آنها واگذار می‌شود انجام می‌دهند، بدون اینکه درکی از آنها داشته باشند (در واقع کامپیوترها مقداری از درک برنامه‌نویس‌هایشان را بکار می‌گیرند. برنامه‌نویس مساله را درک کرده و فرموله می‌کند و برای حل آن الگوریتم ساده یا حتی مبتنی بر یادگیری ماشین ارائه می‌دهد. منتها به دلیل سرعت، دقت و حافظه کامپیوترها، اجرای الگوریتم را به آنها واگذار می‌کند [۱۷]). کامپیوتری وجود ندارد که بتواند مساله‌ای را درک کرده و نسبت به حل آن اقدام نماید. قدرت الگوریتمی هر کامپیوتر وابسته به قدرت تحلیل و طراحی برنامه نویسی دارد که برنامه وی را می‌نویسد.

۱.۲ دیدگاه‌های نوین فلسفی

در اینجا به بررسی چند دیدگاه معاصر می‌پردازیم که در تبیین مسائل ذهن و بدن موفق‌تر از سایرین عمل کرده‌اند. دلیل ذکر این دیدگاه‌ها در این است که هر کدام به قسمی تأیید کننده رویکرد ارائه شده می‌باشند. این دیدگاه‌ها عبارتند از اتصال‌گرایی، نخواست‌گرایی و اطلاعات‌گرایی. در ادامه به بررسی این دیدگاه‌های پردازیم.

دیدگاه‌های اتصال‌گرایی و نخواست‌گرایی. بدلیل نزدیکی دو دیدگاه فوق از جنبه‌ای که می‌خواهیم به آن بپردازیم، این دو دیدگاه را با هم بررسی می‌کنیم. دیدگاه اتصال‌گرایی دیدگاهی در زمینه نحوه تولید حالات ذهنی می‌باشد که تلاش می‌کند تا پدیده‌های رفتاری یا ذهنی را به عنوان فرآیندهایی ناشی از عملکرد شبکه بهم پیوسته‌ای از بخش‌های ساده مدل کند. مهم‌ترین مدل ارائه شده در این زمینه شبکه‌های عصبی (طبیعی و مصنوعی) می‌باشند. اتصال‌گرایان معتقدند که ارتباطات موجود مابین تعداد زیادی از نرون‌های فیزیکی باعث بوجود آمدن فرآیندهای ذهنی (غیر فیزیکی) می‌شوند. دیدگاه اتصال‌گرایی به مادی‌گرایان کمک می‌کند تا بتوانند چگونگی وجود فرآیندهای ذهنی را توجیه کنند.

روش‌های هوش گروهی محاسباتی^{۲۹} نظیر کلونی مورچه‌ها^{۳۰} مبحث دیگری هستند که نزدیکی معنایی بالایی به دیدگاه اتصال‌گرایی دارند. به عنوان مثال مقاله [۷] عملکرد مغز را با استفاده از مفهوم کلونی مورچه‌ها توضیح می‌دهد. کلونی مورچه‌ها یک مبحث داغ در سالیان اخیر بوده است. روح کلی این مبحث و سایر الگوریتم‌ها و ایده‌های الهام گرفته شده از آن این است که از همکاری مورچه‌ها برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی استفاده شود. هر مورچه به تنهایی دارای هوش و توانمندی‌های محدودی می‌باشد ولی جمعی از مورچه‌ها در یک کلونی دارای رفتار جمعی بسیار پیچیده و هوشمندی می‌باشند. بدیهی است که هیچ کدام از مورچه‌ها به تنهایی قادر نخواهند بود کل پروژه (مثلاً فضای مسیریابی) را تصور کرده و عملکرد مورچه‌ها و نتیجه نهایی را دریابند یا به تنهایی به آن دست یابند.

از طرفی در دیدگاه نخواست‌گرایی، ویژگی‌های برخاسته تعریف می‌شوند که طبق تعریف نمی‌توانند توسط اجزای یک سیستم تعیین شوند بلکه کل سیستم است که آنها را می‌سازد. مثلاً ویژگی کوتاهترین مسیر در کلونی مورچه‌ها. در این حالت حتی تعریف مساله کوتاهترین مسیر و چگونگی روبرو شدن برای حل آن توسط اجزای سیستم قابل درک نیست [۳۳]. نخواست‌گرایان ذهن را چیزی مجزا از بدن نمی‌دانند، بلکه آن را برخاسته از بدن می‌دانند. نخواست‌گرایی قوی ادعا می‌کند که آگاهی نیز می‌تواند از بدن برخیزد.

ارتباط این دو دیدگاه با رویکرد پیشنهادی در این است که اولاً هوش گروهی محاسباتی می‌تواند از دنیای کلونی مورچه‌ها و دسته‌های پرندگان مهاجر به شبکه‌های جمعی آدم‌ها گسترش داده شود. و دوم اینکه اگر ویژگی‌های ذهنی و حتی آگاهی بتواند از نرون‌های فیزیکی برخیزد، پس می‌توان انتظار داشت که در یک شبکه جمعی مفاهیم سطح بالاتری از ارتباط و همکاری بین انسان‌های آگاه برخیزد!

دیدگاه اطلاعات‌گرایی در این دیدگاه اطلاعات نقش اساسی در تبیین عملکرد سیستم‌ها دارد. سیستم‌ها در این دیدگاه بر اساس اینکه عملکردشان بر اساس انتقال اطلاعات در بین اجزایشان باشد یا اینکه فقط بر اساس نیروهای کنش و واکنش بین آنها، به دسته‌های گوناگونی تقسیم می‌شوند. از طرفی در سیستم‌هایی که عملکردشان بر اساس تبادل اطلاعات بین اجزای‌شان صورت می‌گیرد بر اساس اینکه اطلاعات آنها اصیل باشد یا بازتابی از اطلاعات اصیل، باز به دو زیر دسته تقسیم می‌شوند. سیستم‌های مصنوعی (یا بخش‌های یک سیستم مصنوعی) دارای اطلاعات اصیل نیستند و بازتاب اطلاعاتی هستند که ما در آنها گذاشته‌ایم (با تعیین شرایط اولیه یا تنظیم نحوه اندازه‌گیری‌ها) [۳۰]. از طرفی ادعا می‌شود که فقط یک سیستم با تعامل اطلاعات اصیل است که می‌تواند آگاهی داشته باشد. این کار با استفاده از مفهوم قصدمندی^{۳۱} انجام می‌پذیرد. از طرفی آگاهی و قصدمندی دو مفهوم کاملاً در هم تنیده هستند و از طرفی دیگر فقط موجودات و سیستم‌های بیولوژیکی فی‌نفسه قصدمند هستند (قصدمندی مصنوعات، آئینه‌ای از قصدمندی سازنده آن‌ها در راستای هدف مشخصی بوده و مانند قصدمندی موجودات بیولوژیکی اصیل نیست) [۳۰].

ملیح از همین استدلال بهره می‌گیرد و ادعا می‌کند که اگر تمامی نرون‌های مغز یک انسان با چیپ‌های سیلیکونی هم‌ارز آن‌ها عوض شوند، موجود

^{۲۹}computational swarm intelligence

^{۳۰}ant colony

^{۳۱}Intentionality

وجود آمده دارای آگاهی نخواهد بود، چون تعامل بین نورون‌ها بر پایه تبادل اطلاعات اصیل بوده و teleonomical می‌باشد، در حالی که تعامل بین چپ‌های سیلیکونی teleological بوده و نمی‌تواند بصورت طبیعی وجود داشته باشد، مگر با استفاده از شانس ذاتی [۳۰]!

دیدگاه اطلاعات‌گرایی بر تفاوت بین سیستم‌های شامل موجودات بیولوژیکی و مصنوعی تاکید کرده و بسیاری از ویژگی سیستم‌های هوشمند را فقط برای این سیستم‌ها قائل است. بر اساس این دیدگاه یک سیستم شبکه جمعی دارای توانمندی‌های ذاتی بسیار بیشتری از سیستم‌های هوشمند صرفاً ماشینی می‌باشد.

۱.۳ مدل‌های جدید تجاری

در این بخش به بررسی شبکه‌های جمعی^{۳۲} می‌پردازیم که به عنوان ابزار قدرتمندی برای انجام فعالیت‌های جدید مطرح شده‌اند.

امروزه، زندگی ما در شبکه‌های جمعی و اجتماعی مختلف سپری می‌شود. هر فرد عضو یک یا چند شبکه می‌باشد. بسیاری از این شبکه‌ها نداشت دیجیتالی داشته و به خوبی قابل مطالعه هستند. در این مطالعات می‌توان تاثیر فرد و شبکه را متقابلاً بر روی هم بررسی نمود.

هر فردی در هر شبکه، دارای قدرت اطلاعاتی مشخصی می‌باشد. قدرت اطلاعاتی شبکه نیز در این است که در آن، حتی اگر عضوی قادر باشد فعالیت هر کدام از اعضای دیگر آن شبکه را انجام دهد، قادر به انجام برآیند فعالیت همه اعضای آن شبکه نخواهد بود. یعنی دانش قابل حصول از اعضای یک شبکه به صورت شگرفی بیشتر از دانش تکین اعضای آن شبکه می‌باشد.

در ادامه ابتدای مفهوم جمع‌سپاری را تعریف نموده و کاربردهای فعلی آن را بر خواهیم شمرد. سپس ارتباط جمع‌سپاری و شبکه‌های جمعی را با موضوع پیشنهادی را بیان خواهیم نمود.

جمع‌سپاری^{۳۳} ترکیبی معنایی از دو عبارت خرد جمعی^{۳۴} و برون‌سپاری^{۳۵} می‌باشد. این اصطلاح نخستین بار در سال ۲۰۰۶ توسط روزنامه‌نگاری به نام Jeff Howe در مقاله‌ای در نشریه Wired معرفی شد [۶]. وی در سال ۲۰۰۸ نیز کتابی را با همین عنوان منتشر نمود [۳].

طبق تعریف ویکی‌پدیا^{۳۶} جمع‌سپاری عبارت است از عمل برون‌سپاری وظایف بوسیله یک کارفرما به گروه بزرگی از مردم یا یک انجمن (یک جمع) از طریق یک فراخوان. طبق توصیف ویکی‌پدیا، جمع‌سپاری یک مدل توزیع‌شده حل مساله و تولید می‌باشد. ویکی‌پدیا تفاوت بین جمع‌سپاری و برون‌سپاری را در این می‌داند که در جمع‌سپاری بر خلاف برون‌سپاری، مساله بین گروهی از کاربران ناشناس پخش می‌شود نه یک فرد مشخص شناخته شده. تفاوت بین جمع‌سپاری و متن‌باز هم در این است که در فعالیت‌های متن‌باز فعالیت‌های داوطلبانه‌ای هستند که توسط یک فرد از همان جامعه آغاز می‌شوند و سایر اعضا نیز به شکل داوطلبانه به تکمیل آن می‌پردازند، ولی در فعالیت‌های جمع‌سپاری یک مشتری است که اقدام به شروع یک فعالیت می‌کند و گروه‌هایی از اعضای شبکه بصورت موازی به حل آن فعالیت اقدام می‌کنند. تفاوت اساسی دیگری که بین آن دو وجود دارد، انگیزه‌های شرکت‌کنندگان در آن فعالیت‌ها می‌باشد. در حالت کلی هر فعالیت متن‌باز می‌تواند به عنوان یک فعالیت جمع‌سپاری تلقی شود، ولی عکس این قضیه صادق نیست.

سرعت رشد جمع‌سپاری بعد از معرفی ایده اولیه آن بسیار سریع بوده و شبکه‌های بسیار زیادی با هدف جمع‌سپاری وجود آمده‌اند. مهم‌ترین کاربردهای این شبکه‌ها را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی نمود^{۳۷}:

خلق و ایجاد. در این کاربرد از اعضای شبکه خواسته می‌شود که محتوا، محصول یا مفهومی را خلق کنند. از مهم‌ترین نمونه‌های این دسته می‌توان به نرم‌افزارهای متن‌باز، ویکی‌پدیا، شبکه‌هایی نظیر **Cambrian House** برای طراحی محصولات نرم‌افزاری تجاری یا **CrowdSpirit** برای طراحی و اجرای محصولات الکترونیکی ارزان قیمت تجاری اشاره نمود.

نیروهای آماده بکار. در این کاربرد نیز هدف خلق و ایجاد است، با این تفاوت که هدف‌های معین و از قبل مشخص شده‌ای وجود ندارد، بلکه اعضای شبکه همانند نیروهای آماده بکاری هستند که منتظرند تا درخواستی به سیستم وارد شود تا بنا به آن درخواست بلافاصله خلق و ایجاد خود را شروع کنند. به عنوان نمونه‌ای از این دسته می‌توان به شبکه **Rent A Coder** اشاره نمود که دارای تعداد بسیار زیادی طراح و توسعه دهنده نرم‌افزاری به عنوان عضو است که از آنها برای طراحی و توسعه پروژه‌های نرم‌افزاری جذب شده بهره می‌گیرد.

تحقیق و توسعه. شبکه‌های این کاربرد اقدام به جذب متخصصین و کارشناسان به عنوان عضو می‌کنند. سپس از صنایع و شرکت‌های بزرگ، درخواست می‌کنند تا نیازهایشان را در جهت رفع مشکلات تحقیق و توسعه خود یا ایجاد نوآوری و خلاقیت در فرآیندهای این شبکه اعلام کنند. با

^{۳۲} شبکه‌های جمعی (collective networks) شبکه‌هایی هستند که افراد موجود در آنها [بر خلاف شبکه‌های اجتماعی] دارای ارتباطات مستقیم بسیار اندکی هستند.

^{۳۳} Crowdsourcing

^{۳۴} The wisdom of crowd

^{۳۵} Outsourcing

^{۳۶} <http://en.wikipedia.org/wiki/Crowdsourcing>

^{۳۷} برای اطلاعات بیشتر در این زمینه و مشاهده نمونه‌های متنوعی از هر دسته به گزارش تکنیکی [۴۵] مراجعه نمایید.

اعلام نیازها به شبکه، این نیازها به اعضا اعلام می‌شود. در صورتی که راهکاری از طریق یک یا تیمی از اعضا برای این پروژه‌ها پیشنهاد شود، این راهکار بصورت یک پیشنهاد به شرکت متقاضی ارائه می‌شود. در اصل این شبکه‌ها شبیه بخش تحقیق و توسعه برای تمامی شرکت‌هایی هستند که از خدمات آنها استفاده می‌کنند. با این تفاوت که دارای تعداد بسیار زیادی متخصص بوده و سربار مالی برای آن شرکت ندارند. قدرت برخی از این شبکه‌ها به حدی است که به عنوان مرجعی جهت حل مشکلات تکنولوژیک شناخته می‌شوند و شرکت‌های Fortune Top 500 از مشتریان پر و پا قرص آنها می‌باشند. نمونه قوی‌ای از این شبکه‌ها، شبکه InnoCentive بایش از دویست هزار عضو می‌باشد که ۶۱ درصد آنها دارای مدارج پیشرفته علمی یا صنعتی هستند. مشتریان این شبکه نیز شرکت‌هایی هستند که با چالش‌های جدی روبرو هستند و توسط تیم تحقیق و توسعه شرکت خود قادر به حل این چالش‌ها نبوده یا می‌خواهند با هزینه و زمان پایین‌تری به حل مشکل‌شان دست یابند. سازمان‌های The Economist، Nature، ناسا، SAP، بنیاد راکفلر و ... از مشتریان این شبکه می‌باشند.

ایده‌پردازی و ایده پروری. در این کاربرد اعضای شبکه به ایده‌پردازی پرداخته و سعی می‌کنند ایده‌هایی را شناسایی کنند که امکان تجاری‌سازی آنها وجود داشته باشد. جذاب‌ترین ایده‌ها پس از رای‌گیری از اعضا مشخص شده و جهت بهره‌برداری‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سرمایه‌گذاری جمعی در شبکه‌های سرمایه‌گذاری جمعی، اعضا به منظور پیدا کردن راه‌هایی جهت انجام سرمایه‌گذاری بر روی دارایی‌هایشان گرد هم می‌آیند. هر فردی در این شبکه می‌تواند ایده‌ای را برای سرمایه‌گذاری مطرح نماید. در صورت مقبولیت ایده بین سایر اعضا، آنها سرمایه‌هایشان را برای عملی کردن پیشنهاد ارائه شده در اختیار این عضو قرار می‌دهند. معمولاً در این شبکه‌ها روال‌های مشخصی برای نظارت‌ها، تعهدات و گارانتی‌ها وجود دارد. وجود جمع زیادی از افراد خبره در امور مالی و سرمایه‌گذاری و نظارت و نظارت سایر اعضا در این شبکه‌ها، شکست سرمایه‌گذاری را به حد بسیار پایینی می‌رساند.

پیش‌بینی. در این کاربرد شبکه‌های جمع‌سپاری سعی می‌کنند تا از دانش اعضای شبکه برای پیش‌بینی میزان موفقیت یک محصول، میزان محبوبیت یک طراحی یا مفهوم، پیامدهای یک اتفاق و ... استفاده کنند. این شبکه‌ها را به نحوی می‌توان وسیله‌ای برای سنجش نظرات کاربران یک محصول، سنجش افکار عمومی، جمع‌آوری افکار افراد خبره و ... دانست. نمونه‌هایی از این شبکه‌ها Threadless (برای پیش‌بینی اینکه کدام تی‌شرت‌ها در بازار خوب فروش می‌کنند) و Dell Idea Storm (برای پیش‌بینی اینکه چه ویژگی‌هایی در محصولات آتی Dell اگر وجود داشته باشند، این شرکت در بازار موفق‌تر خواهد بود) می‌باشند.

سازمان‌دهی. در این شبکه‌ها، جمع‌سپاری در راستای سازمان‌دهی اطلاعات خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌هایی از این شبکه‌ها عبارتند از: digg (لینک‌های وب مختلفی به این شبکه ارسال می‌شود و کاربران در امتیاز دهی به آنها شرکت می‌کنند تا لینک‌هایی که ارزش چک کردن دارند، برای سایرین مشخص نمایند).

هوش جمعی در شبکه‌های هوش جمعی^{۳۸} وظایف و پروژه‌هایی با هدف انجام توسط اعضای شبکه پذیرش می‌شوند. این پروژه‌ها یا وظایف به تعداد بسیار زیادی ریزر و وظیفه شکسته می‌شوند، بطوری که هر ریزر وظیفه توسط تعدادی از افراد شبکه قابل انجام باشد. در نهایت جواب‌های این ریزر وظایف با هم ادغام شده و جواب وظیفه یا پروژه نهایی از آن ساخته می‌شود. معمولاً در این شبکه‌ها وظیفه شکست وظیفه، اعتبار سنجی پاسخ‌های ارائه شده توسط کاربران و تجمیع آنها را صاحبان وظایف بر عهده دارند. افراد شبکه نیز به ازای انجام ریزر وظایف مالی را دریافت می‌کنند. شبکه Mechanical Turk آمازون معروف‌ترین شبکه از این دسته می‌باشد. به عنوان نمونه‌های دیگری از این دسته می‌توان به این شبکه‌ها اشاره نمود: Distributed Proofreaders (برای تصحیح متون ماشینی دیجیتالی شده)، Google Image Labeler (یک بازی هدفدار ساده برای لیبل‌گذاری تصاویر جهت بازیابی محتوایی آنها)، Mob4Hire (برای تست برنامه‌های کاربردی تحت موبایل) و NASA Clickworkers (برای پردازش انسانی تصاویر مریخ).

جمع‌سپاری و استخراج دانش. دانش بسیار زیادی به صورت پیدا و پنهان در شبکه‌ها وجود دارد. این دانش غالباً «پراکنده» بوده یا «پنهان» می‌باشد. «پراکندگی» از این لحاظ که هیچ‌کدام از افراد آن شبکه به همه آن دانش دسترسی ندارند و هر عضوی از شبکه ممکن است به بخشی از آن دسترسی داشته باشد. «پنهان» نیز از این لحاظ که ممکن بخشی از دانش که هر فرد می‌تواند به آن دسترسی داشته باشد، بصورت شسته و رفته در اختیار وی نباشد و لازم باشد که وی مقداری انرژی برای دستیابی به آن خرج کند. در بسیاری از موارد افراد علاقه‌ای به صرف انرژی برای پیدا کردن دانش پنهان اطراف‌شان ندارند، چون به این مساله واقف هستند که این دانش، فقط جزء کوچکی از کل دانش مربوطه بوده و به تنهایی برای‌شان فایده‌ای به همراه نخواهد داشت. اگر ناظر سطح بالاتری به وجود این دانش پراکنده و پنهان واقف باشد، می‌تواند برای دستیابی و بهره‌برداری از کل آن با استفاده از یک شبکه جمعی یا اجتماعی اقدام کند. مثال‌های عملی‌ای وجود دارند که نشان داده‌اند که نه تنها دستیابی به دانشی از این جنس امکان‌پذیر است، بلکه سرعت دستیابی به آن نیز با اتخاذ استراتژی مناسب، بسیار سریع می‌باشد.

بارزترین مثال موجود در این بخش مسابقه بالن‌های قرمز دارپا^{۳۹} می‌باشد. دارپا به مناسبت چهلمین سالگرد تولد اینترنت، مسابقه‌ای را تحت عنوان «چالش شبکه‌ای دارپا»، در اواخر سال ۲۰۰۹ به اجرا گذاشت^{۴۰}. هدف از برگزاری این مسابقه نشان دادن نقش اینترنت و شبکه‌های اجتماعی در

^{۳۸}Collective Intelligence

^{۳۹} از اس تحقیقات پیشرفته دفاعی در ایالات متحده آمریکا

^{۴۰} <https://networkchallenge.darpa.mil>

ارتباطات زماندار، ساخت تیم‌های مجازی با اعضای پراکنده و بسیج فوری برای حل مسایل با حوزه گسترده و بحرانی از لحاظ زمانی بود. این مسابقه همچنین نمایش مناسبی از کارایی جمع‌سپاری در شبکه‌های سنسوری بود [۳]. در این مسابقه از شرکت کنندگان خواسته شده بود که ده بالن شناور هشت فوتی را که در ده نقطه ناشناس آمریکا به مدت محدود از یک زمان مشخص نمایش داده می‌شدند، را شناسایی کنند. به اولین فرد یا گروهی که موقعیت تمامی این بالن‌ها را به درستی گزارش می‌داد، جایزه‌ای تعلق می‌گرفت.

مهم‌ترین معضل پیش روی شرکت کنندگان در این مسابقه غلبه بر تاکتیک‌های منفی رقبا بوده است. مهم‌ترین تاکتیک‌های منفی در اختیار تیم‌ها عبارت بوده است از^{۴۱}: بر افراشتن بالن‌های مشابه، ارسال گزارش‌های به ظاهر مستند ولی اشتباه برای تیم‌های رقیب توسط افراد متعدد و در نهایت از بین بردن بالن‌های در دسترس جهت کاهش شانس پیدا شدن آنها توسط دیگر تیم‌ها.

حدود چهار هزار و سیصد گروه در این مسابقه شرکت کردند که در نهایت تیمی از دانشگاه MIT موفق به بردن این مسابقه شد. اگر چه تیم‌ها برای شناسایی این بالن‌ها نه روز فرصت داشتند، ولی این تیم در کمتر از نه ساعت موفق به گزارش صحیح تمامی بالن‌ها شد. استراتژی این تیم شکل‌دهی یک شبکه خاص منظوره (به جای استفاده از شبکه‌های عمومی نظیر Facebook، تویتر و ...) و ترغیب افراد به عضویت در این شبکه با بکار گرفتن روش‌های بازاریابی شبکه‌ای بوده است. گزارشی از استراتژی‌های غلبه بر گزارش‌های نادرست که توسط این تیم بکار گرفته شده بود، ارائه نشده است.

در این بخش مفهوم جمع‌سپاری و قدرت شبکه‌های جمعی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. رویکرد پیشنهادی از شبکه‌های جمعی به عنوان بستر خود استفاده می‌کند. با توجه به توضیحات ارائه شده دستیابی به سیستم‌های هوشمند و استخراج دانش و قابلیت‌های انسانی با به کار گیری توانمندی‌های اعضای این شبکه‌ها دور از دسترس نیست.

۱.۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل به چرایی استفاده از شبکه‌های جمعی در راستای بوجود آوردن سیستم‌های هوشمند اشاره کردیم. دلیل اصلی روی آوردن به این دیدگاه این است که ماشین‌های امروزی قادر به حل مسائل بسیار ساده غیر الگوریتمی نیستند ولی انسان‌ها به راحتی می‌توانند این مسائل را حل کنند. از طرفی سرعت و دقت پردازش کامپیوترها در مقایسه با انسان‌ها بسیار بیشتر است. در نتیجه ترکیب قدرت غیر الگوریتمی مغز انسان‌ها و سرعت و دقت کامپیوترها کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. در این فصل تبیین‌هایی از دیدگاه‌های مختلف فلسفی را نیز بیان کردیم که بر درست بودن این تصمیم دلالت داشتند. لازم به ذکر است که دلایل ذکر شده در حد تبیین می‌باشند نه اثبات، چون اصولاً ارائه اثباتی برای این منظور امکان‌پذیر نیست.

رویکردهای دیگری نیز علاوه بر این رویکرد ارائه شده‌اند، ولی هیچ‌کدام دارای پیشرفت‌های چشمگیری نبوده‌اند. به عنوان مثال پن‌روز ایده استفاده از کامپیوترهای کوانتومی را برای تطابق بیشتر با ساختار فیزیولوژی انسان مطرح می‌کند [۱۵]. ایرادی که به این پیشنهاد وارد است این است که کامپیوترهای کوانتومی ممکن است بتوانند برخی از مسائلی را که در کامپیوترهای معمولی در زمان نامایی قابل حل هستند را در زمان چند جمله‌ای حل کنند، ولی از لحاظ قدرت محاسباتی همانند کامپیوترهای فعلی بوده و قادر به حل مسائل غیر الگوریتمی نمی‌باشند [۵]. یا به عنوان مثالی دیگر و به منظور تقویت ماشین‌های تورینگ، تلاش‌هایی برای ارائه فرمولاسیونی جهت کامپیوترهای آنالوگ صورت گرفته است تا چارچوب ماشین‌های حالت انتزاعی^{۴۲} را به مدل‌های پیوسته زمان توسعه دهد. این تلاش‌ها نیز در ابتدای مسیر خود قرار دارند [۳۸].

به عنوان آخرین بخش این فصل دورنمایی از آینده سیستم‌های هوش مصنوعی از طریق شبکه‌های جمعی را ارائه می‌دهیم. در این دورنما برنامه‌های کامپیوتری بسیار هوشمندی وجود دارند که می‌توانند فعالیت‌های بسیار زیادی را که قبلاً قادر به انجام‌شان نبودند را به خوبی انجام دهند. فعالیت‌هایی که فراتر از محدودیت‌های نسبت داده توسط قضیه رایس به آنها می‌باشد. آنها همچنین می‌توانند زیبایی را درک کنند، قضاوت کنند، اخلاقیات را درک کرده و در مورد آن اظهار نظر کنند، احساسات موجود در متون را درک کرده و بیان کنند و پشت پرده این برنامه‌های کامپیوتری سیستم‌های جمعی هستند که به شبکه‌های بسیار بزرگی متصلند که دارای میلیون‌ها نفر عضو هستند. هر عضو این شبکه در طی روز صدها و یا حتی چند هزار ریز وظیفه ارجاعی (الگوریتمی و غیر الگوریتمی) در زمینه‌های مختلف را به سرعت انجام داده و تحویل سیستم می‌دهد و

^{۴۱} <http://mssv.net/2009/10/31/how-to-win-the-darpa-network-challenge/>

^{۴۲} abstract state machine

فصل ۲

چارچوب پیشنهادی

هوش مصنوعی از طریق شبکه‌های جمعی چند هدف اصلی را دنبال می‌کند:

- چگونه می‌توان افراد و کامپیوتر را با هم مجتمع کرد به قسمی که ترکیب بوجود آمده هوشمندتر از هر دو جز تشکیل دهنده باشد؟^۱
- چگونه می‌توان مسائلی که توسط کامپیوترها قابل حل نیستند ولی صرفنظر از زمان لازم برای حل آنها براحتی می‌توانند توسط گروهی از انسان‌ها حل شوند، را با تکنولوژی امروزی حل نمود؟
- چگونه می‌توان دانش حل مساله را که در جامعه توزیع شده است (و اخذ، انتقال و استفاده از آن در محیط جدید دارای هزینه‌های بالایی است [۱۴]) را با هزینه‌های پایینی به صورت کارا اخذ نموده و از آن بهره برد؟

اهداف زیر در محدوده اهداف این رویکرد قرار نمی‌گیرند:

- حل مسائلی که نه توسط کامپیوترها و نه توسط انسان‌ها قابل حل نیستند (نظیر مساله‌های باز علمی).
- حل مسائل مصنوعی که نیاز به سطح بالایی از خبرگی انسانی دارند (نظیر مساله‌های علمی دانشگاهی).

مهم‌ترین جنبه در اجرایی کردن رویکرد پیشنهادی، ارائه چارچوب و معماری مناسبی است که بتوان از طریق آن به اهداف پیش‌بینی شده دست یافت. معماری این سیستم در بسیاری از کاربردها خیلی مهم‌تر از فعالیت‌هایی است که قرار است در قالب آن معماری اجرا شود.^۲ این معماری در شکل ۲.۱ نشان داده شده است.

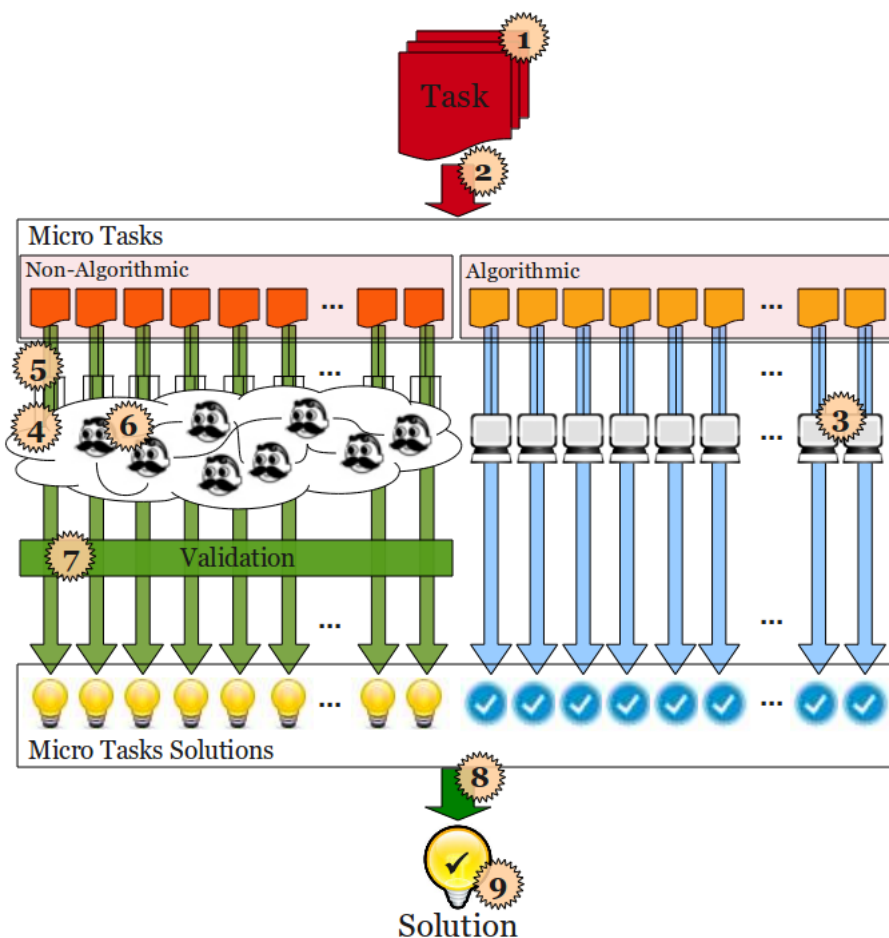
همانگونه که در شکل مشخص است. یک وظیفه در قالب این رویکرد به تعداد بسیار زیادی از ریز وظایف شکسته می‌شود. بخشی از ریز وظایف الگوریتمی بوده و می‌توانند توسط ماشین حل شوند. بخشی نیز غیر الگوریتمی بوده و نیاز به هوش انسانی برای حل دارند. این ریز وظایف به یک شبکه جمعی سپرده می‌شوند تا توسط اعضای آن شبکه حل شوند. سیستم تصمیم می‌گیرد که هر کدام از وظایف را به کدام عضو بسپرد تا ضریب اطمینان از حل درست آن افزایش یابد. ممکن در اینجا سیستم یک ریز وظیفه را برای حل به چندین عضو بطور همزمان یا پس از بررسی پاسخ‌های ارائه شده توسط اعضای قبلی بسپرد. از آنجایی که ریز وظایف این بخش غیر الگوریتمی هستند، اعتبارسنجی آنها نیز باید توسط همین شبکه انجام پذیرد. پس از اعتبار سنجی وظایف و دریافت پاسخ‌هایی با ضریب اطمینان قابل قبول از درستی آنها، این پاسخ‌ها همراه با پاسخ‌های ارائه شده توسط ماشین برای ریز وظایف الگوریتمی تجمیع شده و پاسخ نهایی وظیفه را بدست می‌دهند. هم زمان ضریب اطمینان پاسخ کلی ارائه شده نیز محاسبه شده و همراه با پاسخ ارائه می‌شود.

با ارائه توضیحات فوق، مسائلی را که این معماری با آنها مواجه است، تا اندازه‌ای مشخص شدند. در ادامه به باز کردن بیشتر این مسائل می‌پردازیم. این مسائل نشان دهنده جنبه‌های مختلف معماری ارائه شده بوده و در شکل نیز (با اعداد ۱ تا ۹) مشخص شده‌اند:

۱. مسائلی قابل حل توسط این چارچوب. دو وجه مختلف برای مسائلی که می‌توانند توسط این رویکرد قابل حل باشند مطرح است. اول اینکه وظایفی که مناسب این سیستم هستند، باید چه ویژگی‌هایی داشته باشند. و دوم اینکه چه کاربردهای واقعی وجود دارند که دارای این ویژگی‌ها بوده

^۱ این هدف برگرفته از هدف تحقیقاتی مرکز هوش جمعی دانشگاه MIT می‌باشد.

^۲ با الهام از نظر لینوس تورالدز در کتاب «متن‌باز» اش که بیان می‌کند که «معماری یک نرم‌افزار متن‌باز ممکن است خیلی مهم‌تر از کد منبع آن نرم‌افزار باشد».



شکل ۲.۱: معماری چارچوب پیشنهادی. جهت توضیحات بیشتر به متن مراجعه کنید.

و این رویکرد قادر است پاسخی بهتر از پاسخ‌های موجود فعلی برای آنها ارائه دهد؟ پاسخ قسمت اول این مساله آسان‌تر از بخش دوم آن است. ویژگی‌های ساختاری مسائل قابل حل توسط این رویکرد با توجه به سناریو و معماری رویکرد قابل استخراج هستند. ولی کاربردهای با این ساختارها باید با توجه به دسته‌بندی ارائه شده در فصل اول این مستند و همچنین مطالعه فعالیت‌های پیشین انجام گرفته در آن زمینه‌ها انجام پذیرد. در اینجا با توجه به معماری و چارچوب رویکرد به ذکر ویژگی‌های ساختاری این کاربردها پرداخته، ولی ارائه پاسخ برای بخش دوم را به بعد موکول کرده و تنها به ذکر نمونه‌ای از این کاربردها اکتفا می‌کنیم.

یک کاربرد مناسب برای حل توسط این رویکرد باید دارای ویژگی‌های ساختاری زیر باشد:

- قابل شکست به تعداد زیادی ریز مساله باشد.
- قابلیت حل ریز مسائل بصورت موازی امکان‌پذیر باشد (یا اینکه وابستگی‌های کمی بین آنها وجود داشته باشد).
- بخش قابل توجهی از ریز وظایف راه حل الگوریتمی نداشته باشند.
- ریز وظایف غیر الگوریتمی توسط یک فرد عادی به راحتی قابل حل باشند.
- یک فرد عادی تا حد قابل قبولی قادر به اعتبارسنجی پاسخ‌های ارائه شده توسط سایر اعضا باشد.
- حل کل مساله توسط گروه کوچکی از افراد دارای هزینه بالایی باشد.
- ریز مسائل ایستا بوده و در طی زمان تغییر نکنند.
- پاسخ ریز وظیفه غیر الگوریتمی وابستگی کامل به فرد پاسخ‌کننده نداشته و پاسخ‌دهندگان در ارائه یک پاسخ مناسب بتوانند به اجماع نسبی برسند.

- روش الگوریتم‌واری برای شکست مساله و ترکیب ریز مسائل وجود داشته باشد.

به عنوان یک مثال از جامعه هدف می‌توان به مساله بازیابی بر اساس محتوای تصویر در سطح مفهومی اشاره نمود. این مساله در رویکرد سیستم جمعی می‌تواند بصورت زیر مطرح شود: ابتدا پایگاه داده مورد نظر تشکیل می‌شود. استخراج ویژگی می‌بایست برای تمامی تصاویر این پایگاه داده انجام پذیرد. ویژگی‌های استخراجی برای هر تصویر را می‌توان مفاهیمی در نظر گرفت که در آن تصویر بیان شده‌اند. استخراج مفاهیم موجود در یک تصویر همانگونه که قبلاً اشاره شد، یک کار غیر الگوریتمی بوده و می‌بایست برای صدها هزار تا چند میلیون تصویر انجام پذیرد. جمع‌آوری و سازماندهی تصاویر و مفاهیم استخراجی، اعتبارسنجی آنها و جستجو در ویژگی‌های استخراجی کاری است که خوبی می‌تواند از عهده یک کامپیوتر برآید. با توجه به توضیحات ارائه شده، مشاهده می‌شود که این مساله می‌تواند یک مساله هدف مناسب برای رویکرد پیشنهادی باشد.

به عنوان مثال‌های دیگری از مسائل هدف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: تحقیقات میدانی گسترده، ترجمه، رونویسی فایل‌های صوتی، تست بتای نرم‌افزارها، کشف خطاهای رخ داده در سیستم‌های هوشمند کلاسیک نظیر برنامه‌های OCR و ...

۲. نحوه شکست یک وظیفه به ریز وظایف. نحوه شکست یک وظیفه به ریز وظایف، وابسته به مساله می‌باشد. نکته‌ای که در این زمینه برای چارچوب مهم است، جنس و طبقه ریز وظایف تولید شده، میزان وابستگی آنها به هم و میزان اهمیت هر کدام از آنها می‌باشد این طبقه‌بندی‌ها، وابستگی‌ها و اولویت‌ها در چارچوب به چه قسمی نمایش داده می‌شوند و معماری سیستم چگونه از آنها متأثر می‌شود؟

در حل ریز وظایف با میزان وابستگی‌های مختلف ساختار شبکه به چه صورت باشد بهتر است؟ تخصیص ریز وظایف با چه ترتیب و اولییتی باید انجام پذیرد؟ اعتبارسنجی ریز وظایف به چه صورت باید انجام شود؟ آیا نیازی به حافظه مشترک بین ریز وظایف وجود دارد؟ وابستگی‌ها در تضمین میزان درستی پاسخ نهایی چگونه تأثیر می‌گذارند؟ و ... نمونه‌هایی از سوالاتی هستند که باید مورد بررسی قرار گیرند.

۳. الگوریتم‌هایی برای حل ریز وظایف الگوریتمی. این بخش وابسته به مساله بوده ولی بدلیل آنکه با ریز وظایف الگوریتمی سر و کار دارد که توسط ماشین حل شده و جواب‌های آنها نیاز به اعتبارسنجی ندارند، ساده‌ترین بخش چارچوب بوده و تأثیری بر بخش‌های دیگر ندارد.

۴. نحوه شکل‌دهی شبکه جمعی. در معماری یک سیستم متکی بر شبکه جمعی ساختار شبکه (توپولوژی شبکه و نوع ارتباطات بین اعضا) نقش مهمی را ایفا می‌کند. زیرا شبکه‌های جمعی (بر خلاف شبکه‌های اجتماعی) دارای ارتباطات بسیار کمی بین اعضای‌شان هستند. این ارتباطات باید به چه صورت طراحی شود تا نهایت بهره‌وری را داشته باشیم؟

میزان وابستگی بین ریز وظایف، نحوه تخصیص وظایف به اعضای شبکه و نحوه اعتبارسنجی پاسخ‌های ریز وظایف مهم‌ترین عواملی هستند که در تعیین ساختار شبکه تأثیر دارند. نحوه تأثیر هر کدام از این عوامل باید بررسی شده و ساختار مناسب شبکه با توجه به آنها طراحی شود.

۵. نحوه تخصیص وظایف به ریز وظایف. یکی از مهم‌ترین بخش‌های چارچوب نحوه تخصیص وظایف به اعضا می‌باشد. هر عضو یک شبکه هوش جمعی دارای سابقه‌ای در آن سیستم می‌باشد. این سابقه می‌تواند توسط مدل شده و مورد استفاده قرار گیرد. مهم‌ترین عواملی که در فاز تخصیص وظایف به اعضا مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از:

- اولویت بندی ریز وظایف (بر اساس اهمیت وظایف یا پایه‌ای‌تر بودن آنها در سری وظایف دارای وابستگی)
- نحوه تخصیص ریز وظایف به اعضا (بر اساس سوابق اعضا)
- تخصیص هر تسک به چند نفر از اعضا (بر اساس روش در نظر گرفته شده برای اعتبارسنجی)

۶. نحوه مدل‌سازی اعضای شبکه جمعی. سوابق فعالیت‌های هر عضو شبکه و میزان کارایی وی باید نگهداری شود تا در نحوه بکارگیری فرد در فعالیت‌های آتی سیستم در نظر گرفته شود. در نظر گرفتن این سوابق کمک می‌کند تا سیستم بتواند منابع نوبز و خطا را شناسایی کرده و رفتار مناسب را در مواجهه با آنها در نظر گیرد. همچنین نحوه اعتبارسنجی پاسخ‌های ارائه شده توسط هر عضو ممکن است بسته به سابقه وی متفاوت باشد.

مدل‌سازی اعضای شبکه می‌تواند از یک فراوانی نمرات کسب شده قبلی در هر طبقه از وظایف تا مدل‌های بسیار پیچیده‌تری که ویژگی‌های رفتاری وی را در مواجهه با مسائل مختلف نشان دهد، متفاوت باشد. این بخش یکی از اساسی‌ترین بخش‌های چارچوب می‌باشد.

۷. نحوه اعتبارسنجی پاسخ‌های ارائه‌توسط عامل‌های انسانی. از مهم‌ترین بخش‌ها در سیستم‌های شامل عامل‌های انسانی، بررسی خروجی آن عامل‌ها می‌باشد. در یک سیستم جمعی روش‌های مختلفی می‌تواند برای این منظور بکار گرفته شود. برخی از این روش‌ها عبارتند از:

- رأی اکثریت. در این حالت هر کدام از ریز وظایف به چندین عضو شبکه تخصیص داده شده و بین جواب‌های برگشتی رأی‌گیری صورت می‌پذیرد. در این صورت مساله اصلی این خواهد بود که هر ریز وظیفه به چند عضو سپرده شود. پاسخ این مساله متأثر از دو عامل خواهد

بود، یکی سابقه اعضای مورد نظر در گذشته و دیگری سطح اطمینانی که می‌خواهیم ریز وظیفه با آن اطمینان دارای پاسخ صحیحی باشد. بدیهی است که هر چه سابقه اعضا در گذشته درخشان‌تر باشد و هر چه سطح اطمینان مورد نظر پایین‌تر باشد، ریز وظیفه باید به تعداد افراد کمتری تخصیص یابد. این روش برای ریز وظایفی نظیر کلاسه‌بندی داده‌ها مناسب است..

- نظارت یک یا چند عضو بر فعالیت هر عضو. در این حالت یک فرد ریز وظیفه را پاسخ داده و چند عضو دیگر در مورد کار وی داوری می‌کنند. این داوری می‌تواند شامل پذیرش راه حل ارائه شده، تکمیل آن و یا رد راه حل و ارجاع وظیفه به منبع وظایف پاسخ داده نشده باشد. موارد مختلفی در مورد این روش می‌تواند مطرح باشد، سری یا موازی بودن داوری‌ها، تعداد داوران، نحوه انتخاب کاربر انجام دهنده وظیفه و داوران نمونه‌هایی از این موارد هستند. این روش برای ریز وظایفی مناسب‌تر به نظر می‌رسد که دارای پاسخ‌های تشریحی یا توصیفی می‌باشند.
- تعامل و همکاری دو یا چند نفر تا رسیدن به پاسخ ریز وظیفه. در این روش کاربران با هم در ارتباط هستند تا با تعامل و همکاری با یکدیگر در مورد پاسخ یک زیر وظیفه به توافق برسند. در این حالت برای جلوگیری از مشکلات احتمالی، تعاملات کاربران بصورت ناشناس باید انجام پذیرد. یعنی هیچ کدام از اعضا نباید در مورد هویت کاربران همکار خویش اطلاعاتی داشته باشند. پاسخ‌های ارائه شده از طرف کاربران نیز باید از دید بقیه همکاران آنها پنهان بماند تا در پاسخ‌های ارائه شده توسط آنها تأثیر نگذارد. در این صورت باید روش خودکاری وجود داشته باشد که سیستم تشخیص دهد که کاربران به توافق نظر دست یافته‌اند یا خیر؟ تعداد اعضای تخصیص یافته به هر ریز وظیفه، نحوه تعامل آنها با هم، اطلاعاتی که سیستم مجاز است بین آنها رد و بدل کند و مکانیزی که سیستم تشخیص دهد که اجماع صورت پذیرفته است، نمونه‌هایی از مسائلی هستند که در این روش باید مورد توجه قرار گیرند.
- درخواست کشف جواب‌های اشتباه از اعضای شبکه. در این روش کلیه پاسخ‌های ارائه شده برای ریز وظیفه‌ها به همراه خود ریز وظیفه‌ها در اختیار تمامی کاربران شبکه قرار گرفته و از آنها درخواست می‌شود تا نسبت به کشف پاسخ‌های اشتباه اقدام نمایند. مهم‌ترین جنبه در این روش، ایجاد انگیزه‌هایی برای کاربران است که نسبت به کشف این اشتباهات اقدام نمایند، که در حیطه این پژوهش نمی‌گنجد.

باید روی موارد فوق تحلیل کارایی صورت بگیرد تا مشخص شود که کدام یک از آنها در ارتباط با سایر بخش‌های چارچوب دارای هزینه پایین‌تری هستند. از طرفی برای درک تناسب هر کدام از آنها با مسائل مختلف باید تحلیل مفهومی بر روی آنها صورت پذیرد.

۸. نحوه تجمیع پاسخ‌های ارائه شده برای وظایف. این بخش وابسته به مساله بوده و می‌تواند از یک ذخیره‌سازی ساده در مثال بازیابی تصویر ارائه شده تا روش‌هایی نظیر Bayesian Truth Serum [۱۰] در پیش‌بینی جمعی متفاوت باشد.

۹. بازه اطمینان پاسخ نهایی ارائه شده توسط چارچوب. هدف از این بخش این است که میزان درستی پاسخ نهایی ارائه شده برای وظیفه اصلی را تخمین بزند. مهم‌ترین عامل موثر در این میزان درستی، میزان درستی ریز وظایف انجام شده در سیستم و بازه اطمینان آنها می‌باشد.

تا اینجا مهم‌ترین جنبه‌های مربوط به معماری یک سیستم هوش جمعی را ارائه کردیم. ارتباط بین این بخش‌ها در نمایش معماری چارچوب خالی است که باید مورد بررسی قرار گیرد و بستگی به پاسخ‌هایی دارد که برای سوالات مطرح شده فوق ارائه می‌گردد.

چارچوب فوق نقش سازماندهی فعالیت‌ها را در یک سیستم هوش مصنوعی از طریق شبکه جمعی بر عهده دارد. این سازماندهی توسط ماشین انجام می‌پذیرد. در واقع تنها فعالیت انسانی این رویکرد حل ریز وظایف غیر الگوریتمی و اعتبارسنجی پاسخ‌های ارائه شده برای آنها می‌باشد. در نتیجه پاسخ تمامی سوالات مطرح شده فوق باید الگوریتمی بوده و توسط کامپیوتر قابل اجرا باشد. در یافتن پاسخ برای سوالات فوق نکات دیگری نیز وجود دارند که باید مورد توجه قرار گیرند که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌کنیم.

هوش جمعی یک گروه در دو حالت کاهش پیدا می‌کند، یکی اینکه کارایی فرد کاهش پیدا کند و دیگری اینکه پیچیدگی مساله افزایش پیدا کند. چارچوب ما باید طوری طراحی شود که از این دو مورد حذر کنیم. مورد اول در فاز تخصیص ریز وظایف باید مورد توجه قرار گیرد و پیچیدگی هم با شکست مناسب مساله. [۳۳]

طبق [۱۸] مهم‌ترین عوامل موثر در کارایی شبکه جمعی عبارتند از: نوع وظایف تزیق شده به شبکه (قابل تقسیم بودن، قابل بهینه‌سازی، ترکیب‌پذیر که خود شامل زیر دسته‌های افزایشی، جبران‌کننده، عطفی و فصلی می‌باشد)، اطلاعات مربوط به وظایف که در اختیار اعضای شبکه قرار می‌گیرد، پیوستگی اعضای شبکه، میزان تبادل اطلاعات، نحوه سازماندهی (رهبری) کل سیستم، نحوه تخصیص وظایف به اعضای گروه، آموزش اعضا در راستای وظایف، طوفان افکار و اجماع عمومی و در نهایت استرس (که دارای یک رابطه ۸-شکل با کارایی است).

مراجع و مراجع

- [1] Jeff Howe, "The Rise of the Crowdsourcing", Wired Magazine, 2006 , [link](#).
- [2] Jeff Howe, "Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd Is Driving the Future of Business", Crown Business publication, 2008.
- [3] "The DARPA Network Challenge", Project Report, 2010.
- [4] T. W. Malone, "What is collective intelligence and what will we do about it?", Edited transcript of remarks at the official launch of the MIT Center for Collective Intelligence, October 13, 2006.
- [5] D. Deutsch, "Quantum Theory, The Church-Turing principle and the universal quantum computer", Proc. R. Soc. Lond. A 400, 97-117, 1985.
- [6] H. G. Rice, "Classes of recursively enumerable sets and their decision problems", Trans. AMS 89:25-59, 1953.
- [7] D. Hofstadter, "Göedel, Escher, Bach", Basic Books, New York, 1979.
- [8] M. L. Minsky, "Future of AI Technology", Toshiba Review, Vol.47, No.7, July 1992.
- [9] G. Chaitin, "Meta Math!: The Quest for Omega", Pantheon Books, New York, 2005.
- [10] D. Prelec, "A Bayesian Truth Serum for Subjective Data", Science, pp. 462-466, 2004.
- [11] A. M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem", Proc. London Math. Soc. Ser. 2 42, 230-265, 1936; A correction, ibid, 43, 544-546, 1937.
- [12] Y. Matiyasevich, J. P. Jones, "Direct translation of register machines into exponential Diophantine equations", In L. Priese, editor, Report First GFI Workshop Found. Theor. Computer Sci., pages 117-130, Univ. Gesamthochschule, Paderborn, 1983.
- [13] E. Zermelo, "Über Grenzzahlen und Mengenbereiche", Fund. Math. 16, 29-47, 1930.
- [14] E. von Hippel, "Sticky information and the locus of problem solving: Implications for Innovation", Management Science 40(April), 429-439, 1994.
- [15] R. Penrose, "The Emperor's New Mind", Oxford Press, Oxford, U.K., 1989.
- [16] J. McCarthy, "Review of The Emperor's New Mind by Roger Penrose", Bulletin of the American Mathematical Society, v23 i2, 606-616, 1998.
- [17] R. Penrose, "The Shadows of the Mind", Oxford: Oxford University Press, 1994.
- [18] "Handbook of Collective intelligence", A collective Intelligence Wiki book, [link](#).
- [19] A. Church, "A Note on the Entscheidungsproblem", Journal of Symbolic Logic (1): 40-41, 1936.

- [20] A. M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", Proceedings of the London Mathematical Society 42: pp. 230–265, 1937.
- [21] N. Dershowitz, Y. Gurevich, "A natural axiomatization of computability and proof of Church's Thesis". The Bulletin of Symbolic Logic, 14(3):299-350, 2008.
- [22] U. Boker, N. Dershowitz, "The Church-Turing Thesis over Arbitrary Domains", Pillars of Computer Science: Essays Dedicated to Boris (Boaz) Trakhtenbrot on the Occasion of His 85th Birthday, Arnon Avron, Nachum Dershowitz, and Alexander Rabinovich, eds., Lecture Notes in Computer Science, vol. 4800, Springer-Verlag, Berlin, pp. 199–229, 2008.
- [23] U. Boker, N. Dershowitz, "Three Paths to E \square ffectiveness", Fields of Logic and Computation: Essays Dedicated to Yuri Gurevich on the Occasion of His 70th Birthday, Andreas Blass, Nachum Dershowitz, and Wolfgang Reisig, eds., Lecture Notes in Computer Science, vol. 6300, Springer-Verlag, Berlin, 2010.
- [24] Marcin Milkowski, "Is computationalism trivial?", Gordana Dodig Crnkovic and Susan Stuart (eds.), Computation, Information, Cognition – The Nexus and the Liminal, Cambridge Scholars Publishing, 2007, pp. 236-246.
- [25] Bickhard, M. H. (forthcoming). Troubles with Computationalism. In R. Kitchener, W. O'Donohue (Eds.) Psychology and Philosophy: Interdisciplinary Problems and Responses, ????
- [26] Richard Samuels, "Classical Computationalism and the Many Problems of Cognitive Relevance", Studies in History and Philosophy of Science, ????
- [27] Gualtiero Piccinini, Computationalism in the Philosophy of Mind, Philosophy Compass 4 (2009).
- [28] Gualtiero Piccinini, "Computationalism, The Church-Turing thesis, and the Church-Turing fallacy",???
- [29] Chalmers, D. J. (1995), "Facing up to the problem of consciousness," Journal of Consciousness Studies, vol. 2, pp. 200–219.
- [30] Seyedreza Maleeh, "The Conscious Mind Revisited: An Informational Approach to the Hard Problem of Consciousness", Doctor of Philosophy thesis, University of Osnabrück, ???
- [31] Drew McDermott, "Artificial Intelligence and Consciousness", ???
- [32] Dannett, The practical requirements for making a conscious robot,???
- [33] Tovey, M., editor, Collective Intelligence: Creating a Prosperous World at Peace. Oakton, VA: EIN Press. 648 pp.
- [34] Giorgio Buttazzo, Artificial Consciousness: Utopia or Real Possibility?, 2001
- [35] R. Kurzweil, The Age of Spiritual Machines, Viking Press, New York, 1999.
- [36] G.S. Paul and E. Cox, Beyond Humanity: CyberEvolution and Future Minds, Charles River Media, Rockland, Mass., 1996.
- [37] H. Moravec, Robot: Mere Machine to Transcendent Mind, Oxford University Press, Oxford, UK, 1999.
- [38] Olivier Bourneza, Nachum Dershowitz, "Foundations of Analog Algorithms",???
- [39] Gualtiero Piccinini, Computationalism in the Philosophy of Mind, Philosophy Compass 4 (2009).

- [40] Matt Careter, Mind and Computers: An Introduction to the philosophy of artificial intelligence, ???
- [41] John McCarthy, From here to human-level AI,????
- [42] Dreyfus, Dreyfus, Mind Over Machine, ???
- [43] David L. Waltz, "Artificial Intelligence", Scientific American, October 1982.
- [44] ارنست ناگل، ج نیومن و آلفرد تارسکی، «برهان گودل و حقیقت و برهان»، ترجمه محمد اردشیر، تهران، انتشارات مولی، چاپ اول، ۱۳۶۴.
- [45] جعفر محمدی، «شبکه‌های اجتماعی و قدرت اطلاعاتی آنها»، گزارش تکنیکی، آزمایشگاه رسانه دیجیتال دانشگاه صنعتی شریف، تابستان ۱۳۸۹.