استفاده از تجزیه‌گرهای احتمالاتی زبان طبیعی جهت بهبود ترجمهٔ افعال گروهی انگلیسی به فارسی

هشام فیلی

دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر دانشکدهٔ فنی، دانشگاه تهران

چکیده:

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در ترجمهٔ ماشینی زبان انگلیسی به فارسی، ترجمه افعال گروهی[1] زبان انگلیسی است که به‌وفور در این زبان یافت می‌شود. افعال گروهی از متداول‌ترین عباراتی هستند که از ترکیب یک فعل با یک حرف اضافه یا قید (ادات) تشکیل شده است. تشخیص این‌که ادات به فعل مرتبط است که در آن صورت فعل گروهی تشکیل می‌دهد یا این‌که به گروه اسمی ما بعد آن مرتبط است، از جمله فعّالیت‌های تا حدودی پیچیده و مبهم در تجزیهٔ نحوی زبان انگلیسی به شمار می‌آید. در این مقاله با استفاده از تجزیه‌گر احتمالاتی زبان انگلیسی در مرحلهٔ تجزیه از یک سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر قاعده، تشخیص افعال گروهی ابهام‌زدایی می‌شود. هم‌چنین با استفاده از تعدادی قواعد زبان‌شناسی که به‌صورت مکاشفه‌ای به‌دست آمده‌اند، خروجی‌های حاصل از تجزیه‌گر احتمالاتی بررسی شده و در صورت تشخیص ناسازگاری ساختاری، تجزیه نحوی بهبود داده می‌شود. آزمایش‌ها بر روی ۵۲۰ جمله حاوی افعال گروهی، نشان از کیفیت تشخیص افعال گروهی با استفاده از تجزیه‌گر احتمالاتی و قواعد مکاشفه‌ای تا حدود ۸۷٪ است.

واژگان کلیدی: ترجمه ماشینی، زبان فارسی، گرامر اتصال، درختی، تجزیه‌گر احتمالاتی

۱- مقدمه

اصطلاح چندکلمه‌ای[2] از دیرباز یکی از بزرگ‌ترین مسائل در پردازش زبان طبیعی به شمار می‌آمده است؛ که پیچیدگی‌های زیادی در پردازش‌های مختلف زبانی، به‌خصوص مترجم ماشینی ایجاد کرده است. گفته می‌شود که تعداد اصطلاح چندکلمه‌ای در زبان انگلیسی به‌طور تقریبی با تعداد کل کلمات برابری می‌کند *(Sag, et al., 2002)*. به‌عنوان مثال در سیستم WordNet 1.7، حدود ۴۱٪ از دُرایه‌ها را اصطلاح چندکلمه‌ای تشکیل داده اند *(Fellbaum, 1998)*. یکی از متداول‌ترین انواع اصطلاحات چندکلمه‌ای، افعال گروهی هستند که به‌خصوص در زبان انگلیسی به‌وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زبان انگلیسی یک فعل گروهی از ترکیب یک فعل و یک حرف اضافه یا قید تشکیل شده است. به حرف اضافه (یا قید) که به یک فعل گروهی مرتبط است، ادات[3] گفته می‌شود. از ترکیب فعل با ادات، افعال جدیدی در زبان ایجاد می‌گردد که معنای آن به هیچ وجه از معنای سازه‌های تشکیل دهندهٔ آن استنتاج نمی‌گردد. از افعال گروهی متداول در زبان انگلیسی می‌توان به افعال "come on" ، "come across"، "put on" و ... اشاره کرد.

هرقدر که ترکیب فعل و ادات سبب افزایش قدرت ارائهٔ زبان و توانایی ایجاد مفاهیم جدید می‌شود، تشخیص این وابستگی خود به یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در تجزیه‌گرهای

[1] Phrasal verb
[2] Multi-word Expression
[3] Particle

نحوی تبدیل شده است *(Mudraya, 2008)*. تشخیص این‌که ادات، به فعل مرتبط است یا این‌که خود تشکیل یک گروه حرف‌اضافهٔ مستقل بدهد، یکی از ابهامات موجود در عمل تجزیهٔ نحوی به‌شمار می‌آید. به‌عنوان مثال جملهٔ ۱، که در واقع دارای فعل گروهی "back up" است، می‌تواند به دو روش مختلف (با فعل گروهی و بدون فعل گروهی) تجزیه گردد.

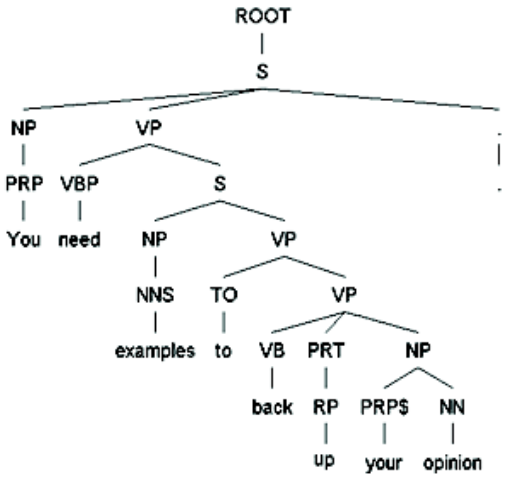
(1) You need examples to back up your opinion.

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب درخت‌های تجزیه متناظر با هریک از حالت‌های ذکر شده را نشان می‌دهند.

بسته به این‌که "back up" به‌عنوان فعل گروهی تشخیص داده شود (شکل ۱) یا اینکه فعل back و حرف اضافه up داشته باشد (شکل ۲)، معنای آن در زبان فارسی تغییر می‌کند. درعمل تشخیص این موضوع به رفع ابهام معنای کلمه[1] نیز کمک می‌کند. تشخیص این موضوع نیز با معنای جمله و احتمال حضور فعل مذکور با مفعول مربوطه مرتبط است. در زیر معانی این جمله در هر دو حالت ذکر شده است که البتّه معنی آن در حالت اوّل، درست است:

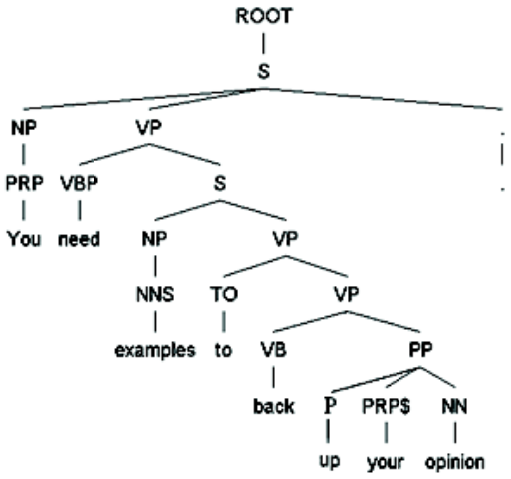
حالت ۱: شما برای پشتیبانی از ایده‌ی‌تان به مثال‌هایی نیاز دارید.

حالت ۲: شما برای پشت رفتن بالای ایده‌ی‌تان، به مثال‌هایی نیاز دارید.



(شکل ۱) تجزیهٔ جملهٔ شمارهٔ ۱ که در آن "back up" به‌عنوان فعل گروهی تشخیص داده شده است.

[1] Word-Sense Disambiguation



(شکل ۲) تجزیهٔ جملهٔ شمارهٔ ۱ که در آن حرف اضافه on تشکیل یک گروه حرف‌اضافه کرده است.

تشخیص ساختار نحوی درست یک جمله که دارای افعال گروهی باشد، در پردازش‌های مختلف زبانی مانند ترجمهٔ ماشینی مبتنی بر قاعده *(Monti, et al., 2011)* و آماری *(Peng, et al., 2009)* کاربرد فراوانی دارد. در صورت تشخیص صحیح افعال گروهی، علاوه بر آن ساختار نحوی جمله به‌درستی قابل تشخیص خواهد بود، امکان تعیین لغت مقصد نیز به‌خوبی وجود خواهد داشت.

در این مقاله از روش‌های احتمالاتی جهت تشخیص افعال گروهی به منظور استفاده در یک سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر قاعده استفاده شده است. در سیستم مترجم ماشینی که در این مقاله بدان اشاره شده است، مدل ساختاری به‌خصوصی با نام دستور اتصال-درختی[2] به‌عنوان مدل رسمی زبان منظور شده است.

گرامر اتصال- درختی به‌دلیل ویژگی‌های خاص خود، جهت استفاده در کاربردهای ترجمهٔ ماشینی مناسب هستند *(Abeille and Scabes, 1989)*. به این نوع از گرامرها که در طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی چامسکی بین گرامرهای مستقل از متن و حساس به متن قرار می‌گیرد، گرامر حساس به متن ملایم[3] گفته می‌شود *(de la, et al., 1998)*. درواقع این نوع از گرامرها را می‌توان نسخهٔ گسترش‌یافتهٔ گرامر مستقل از متن در نظر گرفت که قواعد تولید آن، خود درخت‌هایی هستند که ساختار نحوی جملات را نشان می‌دهند.

[2] Tree-Adjoining Grammar
[3] Mildly context-sensitive grammar

با هدف استفاده از گرامر اتصال-درختی لغوی در ترجمهٔ ماشینی، مفهوم جدیدی به نام گرامر اتصال-درختی هم‌زمان[1] (S-TAG) ابداع شده است. اولین استفاده از S-TAG در ترجمهٔ ماشینی به سال ۱۹۸۹ میلادی بر می‌گردد که در آن با استفاده از این مفهوم،روشی جهت ترجمهٔ اصطلاحات ارایه شد *(Abeille and Scabes, 1989)*. پس از آن، آزمایش‌ها و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است که اغلب آن‌ها بر اساس پروژهٔ گرامر وسیع زبان انگلیسی که XTAG نام دارد، تعریف شده‌اند*(Kallmeyer, 2010)*. S-TAG در واقع از دو گرامر TAG موازی، که متناظر با زبان‌های مبدأ و مقصد هستند، تشکیل شده است. هر جمله‌ای که در زبان مبدأ توسط گرامر TAG زبان مبدأ تجزیه می‌شود، به ساختار معادل خود در زبان مقصد تبدیل می‌گردد.

در مدل S-TAG به‌ازای هر کلمه در زبان مبدأ و ساختار نحوی که آن کلمه می‌تواند داشته باشد، یک ساختار به همراه معانی لغوی آن در زبان مقصد طراحی شده است. بنابراین اگر یک فعل به همراه ادات، به‌عنوان فعل گروهی توسط تجزیه‌گر تشخیص داده شود، آن‌گاه ابهام‌زدایی معنایی کلمه بسیار ساده‌تر خواهد بود و در زبان مقصد معنای دقیق آن مشخّص خواهد شد. بنابراین، این‌که بتوان به‌درستی تشخیص داد که یک فعل به همراه ادات، فعل گروهی است یا سازهٔ مجزا، درعمل در کیفیت ترجمه و ابهام‌زدایی معنایی آن فعل کمک شایانی خواهد کرد.

یکی از مشکلات اصلی استفاده از مدل مذکور، عدم توانایی ابهام‌زدایی در تشخیص افعال گروهی است که این موضوع به‌دلیل عدم استفاده از مدل‌های احتمالاتی در این ساختار است. بدین منظور از یک مدل احتمالاتی جهت بهبود و ابهام‌زدایی عمل تجزیه استفاده شده است. ساختارهای احتمالاتی متعددی در زمینهٔ مدل‌سازی زبان انگلیسی وجود دارد که مدل مورد استفاده در این پروژه از ساختار گرامر مستقل از متن احتمالاتی لغوی[2] استفاده شده است. گرامر مستقل از متن احتمالاتی لغوی، یک گرامر مستقل از متن است که در آن هر یک از قواعد دارای یک مقدار احتمالی هستند و هم‌چنین به هر یک از قواعد تعدادی لغت متناظر شده است. به عبارت دیگر، یک گرامر مستقل از متن احتمالاتی لغوی، گرامری است که علاوه بر تولید جملات زبان، احتمال حضور آن جمله در زبان را نیز محاسبه می‌کند. تجزیه‌گرهای احتمالاتی، سیستم‌هایی هستند که جهت مدل‌سازی ساختاری زبان از یک مدل احتمالاتی (مانند مستقل از متن احتمالاتی لغوی) استفاده می‌کنند.

در این مقاله از تجزیه‌گر احتمالاتی استنفورد *(Klein and Manning, 2003)* جهت تجزیهٔ جملات انگلیسی و تشخیص افعال گروهی استفاده شده است. این تجزیه‌گر دارای کیفیتی حدود ۸۸٪ دقّت/صحّت است. سپس یک مدل ترکیبی[3] از طریق ادغام تجزیه‌گر مذکور با سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر قاعده انگلیسی به فارسی *(Faili and Ghassem-Sani, 2004)*، ارایه می‌گردد. هدف اصلی از این ترکیب بهبود ترجمهٔ افعال گروهی زبان انگلیسی است که به‌عنوان یکی از ضعف‌های مشهود در مدل TAG به‌شمار می‌آید. علاوه بر آن ارایهٔ مدل ترکیبی تجزیه‌گر احتمالاتی و سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر قاعده، استفادهٔ دیگری نیز دارد که در پروژهٔ مذکور در ابهام‌زدایی اتصال گروه حرف‌اضافه (PP Attachment)، ابهام‌زدایی اتصال گروه وصلی و ابهام‌زدایی اتصال گروه عطفی استفاده شده است.

در زمینهٔ تشخیص افعال گروهی انگلیسی، یکروش بامربی با استفاده از WordNet توسط *(Bannard, 2002)* ارایه شده است که از فهرست دست‌ساز برای تشخیص معنای حروف اضافه استفاده شده است و نتیجه‌گیری شد که پراکندگی داده‌ها باعث گرفتن نتایج نامناسب شده است. هم‌چنین با استفاده از روش Latent Semantic Analysis (LSA) ، یک روش ترکیبی برای تشخیص افعال گروهی ارایه شده است*(Baldwin, et al., 2003)* که در آن با کمک LSA شباهت معنایی بین فعل گروهی یا ادات آن سنجیده شده است.

در بخش‌های بعدی ابتدا مختصری درمورد مدل ساخت‌یافتهٔ مترجم ماشینی و مدل احتمالاتی تجزیه‌گر زبان انگلیسی اشاره می‌گردد. سپس به معماری ترکیبی این دو اشاره می‌گردد. آزمایش‌ها نشان داده است که سیستم تجزیه‌گر احتمالاتی لغوی زبان انگلیسی، با وجود کیفیت حدود ۸۸٪ در تجزیهٔ نحوی جملات، در تشخیص افعال

[1] Synchronous tree adjoining grammar
[2] Lexicalized Probabilistic Context-Free grammar (L-PCFG)
[3] Hybrid

گروهی فقط حدود ۷۰/۳۸٪ کیفیت دارد. برای بهبود این وضع از یک روش مبتنی بر قاعده و پیاده‌سازی دو قاعدهٔ مکاشفه‌ای استفاده شده است که سبب افزایش کیفیت تشخیص افعال گروهی تا ۸۶/۹۲ ٪ شده است.

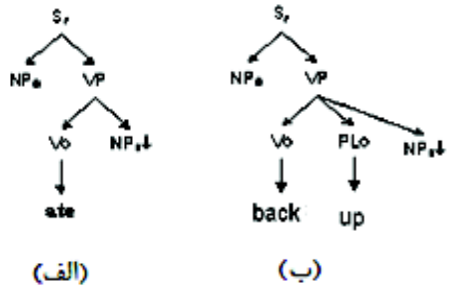
۲- ترجمهٔ انگلیسی به فارسی مبتنی بر قاعده

همان‌طوری‌که در قبل ذکر شد، در سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر قاعده از مدل گرامری اتصال-درختی استفاده شده است. گرامر اتصال-درختی از یک ۵-تایی مرتب (V_N,V_T,S,I,A) تشکیل شده است که در آن V_N مجموعهٔ متناهی از غیرپایانه‌ها، V_T مجموعهٔ متناهی از پایانه‌ها، S علامت شروع گرامر، I مجموعه متناهی از درخت‌های بدوی[1] و A مجموعه‌ی متناهی از درخت‌های کمکی[2] است.

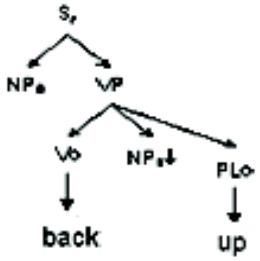
جهت افزایش دقّت و قدرت پردازشی TAG مفهوم لغوی نیز به آن اضافه می‌گردد. بدین صورت که هر درخت اولیه دست‌کم دارای یگ گره است که به‌طور مستقیم به یک واژه متصل است و به آن گره لنگر[3] گفته می‌شود. به این مدل از گرامر، اتصال-درختی لغوی (LTAG) اطلاق می‌گردد.

جهت مدیریت اصطلاحات چندکلمه‌ای، مانند افعال گروهی در گرامرهای اتصال- درختی لغوی درخت‌های بدوی چندلنگر تعریف شده است که در آن هر درخت بدوی به بیش از یک لغت مرتبط می‌گردد. در حالت افعال گروهی درختان متعددی تعریف شده‌اند که در آن گره‌های لنگر شامل دو گرهٔ فعل و حرف اضافه (یا قید) می‌باشد. (شکل ۳)، دو نمونه درخت بدوی در گرامر LTAG را نشان می‌دهد که قسمت-الف نشان‌دهندهٔ یک فعل متعدی مانند فعل "ate" می‌باشد. در قسمت-ب یک فعل گروهی نشان داده می‌شود که دارای دو بخش فعل و حرف اضافه می‌باشد که به‌طور نمونه فعل گروهی "back up" نشان داده شده است. به‌طور تقریبی کلیهٔ افعال گروهی با هر دو درخت مذکور قابل تجزیه هستند و درعمل در تجزیه تمامی جملاتی که دارای افعال گروهی هستند، ابهام ایجاد می‌گردد. تعیین نوع درختی که در تجزیه قابل استفاده است، از مشکلات موجود در سیستم مترجم ماشینی ساخت‌یافته به‌شمار می‌آید. آزمایش‌ها بر روی ۵۲۰ جمله حاوی افعال گروهی نشان داده است که تمامی جملات مذکور با هر دو نوع درخت بدوی قابل تجزیه هستند و در واقع تجزیه‌گر مبتنی بر TAG برای همه‌ی جملات مورد آزمایش هر دو نوع ساختار افعال گروهی و فعل به همراه گروه اسمی یا گروه حرف اضافه را تشخیص داده است.

علاوه‌بر ساختارهای ذکرشده، امکان ایجاد فاصله بین فعل و ادات آن (حرف اضافه یا قید) نیز وجود دارد. بدین‌صورت که ممکن است مفعول که خود یک گروه اسمی است، مابین این دو گره قرار گیرد. درخت نمایش داده شده در (شکل ۴)، یک نمونه از درخت‌های بدوی با در نظر گرفتن فاصلهٔ بین فعل و ادات را نشان می‌دهد. بدیهی است که گروه اسمی NP1 خود می‌تواند شامل چندین کلمه باشد.



(شکل ۳) نمونه‌ای از درخت بدوی یک لنگر برای فعل متعدی(الف) و چندلنگر فعل گروهی(ب)



(شکل ۴) نمونه‌ای از درخت بدوی چندلنگر فعل گروهی که بین فعل و ادات آن، یک سازه‌ی گروه اسمی وجود دارد.

معماری مترجم ساخت‌یافتهٔ انگلیسی به فارسی در (شکل ۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، سیستم مترجم ماشینی ساخت‌یافته دارای سه مرحله با نام‌های مرحلهٔ تجزیه‌گر، مرحلهٔ انتقال و مرحلهٔ تحلیل ساخت‌واژی است. خروجی مرحلهٔ تجزیه‌گر، درخت

[1] Initial trees
[2] Auxiliary trees
[3] Anchor node

اشتقاق[1] می‌باشد که در واقع یک نوع ساختار وابستگی به همراه اطّلاعات نوع وابستگی و نوع هر گره درخت است *(XTAG research group, 2003)*. درواقع با داشتن این ساختار نه‌تنها درخت تجزیه به‌راحتی به‌دست می‌آید، بلکه ساختار اشتقاق جملات در زبان مقصد نیز قابل دست‌یابی است[2]. مرحلهٔ انتقال نیز خود شامل سه بخش انتقال درختی (ساختار نحوی)، انتقال لغوی و انتقال ویژگی است. جهت اطلاعات بیشتر به مرجع *(Faili and Ghassem-Sani, 2004)* مراجعه گردد.

(شکل ۵) مراحل کامل ترجمه بر مبنای گرامر اتصال-درختی هم-زمان(Faili, H., Ghassem-Sani, G. 2004)

از بزرگ‌ترین مشکلات موجود در استفاده از مدل TAG در مترجم ماشینی ساخت‌یافته، عدم امکان ابهام‌زدایی در مراحل مختلف به‌خصوص مرحلهٔ تجزیهٔ زبان مبدأ می‌باشد. به‌طور مثال در جملهٔ شمارهٔ ۱ این مقاله، درعمل هر دو درخت تجزیهٔ شکل‌های ۱ و ۲ به‌عنوان خروجی تجزیه‌گر ارایه می‌شود. جهت ابهام‌زدایی و انتخاب یک تجزیه از بین نامزدهای موجود از روش‌های احتمالاتی استفاده می‌شود که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

در صورت استفاده از تجزیه‌گر پایه بر مبنای مدل TAG، تمامی تجزیه‌های ممکن برای آن جمله ارایه می‌گردد *(Kallmeyer, 2010)*. با استفاده از روش‌های برنامه‌نویسی پویا، الگوریتم تجزیه مبتنی بر نمودار برای مدل گرامری TAG ارایه شده است که یک جمله با طول n کلمه را با هزینهٔ $O(C^3n^6)$ تجزیه می‌کند که در آن C متوسط تعداد درختان بدوی برای هر کلمه در جمله است. علاوه بر مشکل زمان تجزیه این الگوریتم، تعداد تجزیه‌های ایجاد شده نیز می‌تواند بسیار زیاد باشد. برای این منظور از روش‌های مختلفی جهت فیلترکردن تعداد درختان بدوی ممکن برای هر کلمه استفاده می‌شود *(Faili and Ghassem-Sani, 2004)*. ایدهٔ اصلی این مقاله ارایهٔ تعدادی فیلتر با استفاده از سیستم تجزیه‌گر احتمالاتی با مدل PCFG جهت کاهش تعداد حالت‌های تجزیه برای استفاده در یک سیستم مترجم ماشینی ساخت‌یافته است. درواقع در صورت استفاده از این فیلتر درعمل ابهامات موجود در فعل گروهی حذف می‌گردد.

۳- سیستم تجزیه‌گر احتمالاتی

همان‌طوری‌که در قبل مطرح گردید، جهت ابهام‌زدایی و انتخاب یک تجزیهٔ واحد از بین کلیه‌ی تجزیه‌های ممکن، از یک سیستم تجزیه‌گر احتمالاتی[3] زبان انگلیسی استفاده شده است. درواقع از این سیستم به‌عنوان یک فیلتر جهت کاهش تعداد درختان بدوی کلمات استفاده می‌گردد. این عمل علاوه‌بر آن‌که هزینهٔ زمانی تجزیه‌گر مبتنی بر نمودار را کاهش می‌دهد، سبب کاهش ابهامات موجود در تجزیه و حذف ابهامات در حالت افعال گروهی می‌گردد.

درحال‌حاضر، بهترین سیستم‌های تجزیه‌گر احتمالاتی بر مبنای توسعه‌یافته از مدل گرامر مستقل از متن احتمالاتی (PCFG)، تولید شده‌اند*(Cahill, 2008)*. این توسعه در راستای حذف فرضیهٔ استقلال قواعد (مانند مدل-۱ ارایه شده توسط Collins *(Collins, 1997)* و مدل ارایه شده توسط *(Bod, 2006)*، یا در راستای لغوی شدن گرامر(مانند مدل-۲ ارایه شده توسط Collins *(Collins, 1997)* و تجزیه‌گر استنفورد)، یا بر مبنای مدل آموزشی خودکار (مانند مدل ارایه شده توسط *(McClosky, et al., 2006)* است.

درخت تجزیه درختی است که ساختار نحوی یک رشته را بر اساس یک سری گرامر رسمی (احتمالاتی) ارایه می‌دهد. یک تجزیه‌گر زبان طبیعی برنامه‌ای است که ساختار گرامری جملات را تولید می‌کند. برای مثال تشخیص می‌دهد چه کلماتی با هم یک سازه را تشکیل می‌دهند و چه کلماتی فاعل یا مفعول یک فعل هستند. تجزیه‌گر احتملاتی از دانش حاصل از تجزیهٔ دستی جملات استفاده می‌کند و

[1] Derivation Tree

[2] طبق مرجع (Kallmeyer, L. 2010) ساختار اشتقاق جملات هم معنی در زبان‌های مختلف از لحاظ شکل توپولوژی یکسان است و صرفاً برچسب‌های گره‌های این ساختار در این زبان‌ها متفاوت است.

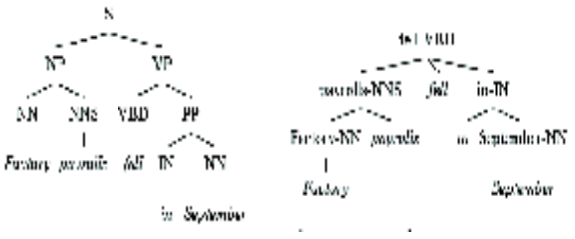
[3] Probabilistic parser

مشابه‌ترین تحلیل را برای جملات جدید به‌دست می‌آورد. درواقع تجزیه‌گر احتمالاتی، یک سیستم مبتنی بر یادگیری است که در آن با استفاده از تعداد زیادی تجزیه که به‌صورت دستی یا نیمه دستی تهیه شده‌اند و به آن درخت- بانک[1] اطلاق می‌گردد(*Mitchell, et al., 1993*)، آموزش یافته و امکان تجزیهٔ جملات جدید را خواهد داشت. در این مقاله از تجزیه‌گر احتمالاتی استنفورد استفاده شده است که در آن میزان کیفیت تجزیه‌های ایجاد شده برابر با ٪۸۶/۳۶ است(*Klein and Manning, 2003*).

این سیستم در واقع ترکیبی از یک تجزیه‌گر مبتنی بر گرامر مستقل از متن احتمالاتی و سیستم تجزیه‌گر مبتنی بر وابستگی[2] است. هر یک از این دو تجزیه‌گر معیاری جهت یک تجزیهٔ مناسب را ارایه می‌دهند که با استفاده از الگوریتمی که از هر دو معیار استفاده می‌کند و در فضای حالت‌های همهٔ تجزیه‌های ممکن از الگوریتم A* استفاده می‌کند، بهترین خروجی را ارایه می‌دهد. علاوه بر زبان انگلیسی، برای زبان‌های آلمانی، چینی و عربی نیز این سیستم پیاده سازی شده است.

در سیستم تجزیه‌گر مبتنی بر گرامر مستقل از متن احتمالاتی بامربی، احتمال حضور هرسازه[3] و زیرسازه، محاسبه می‌شود که این موضوع از طریق شمارش کلیهٔ سازه‌های موجود در درخت - بانک قابل محاسبه است[4]. در این مدل، از مقولهٔ معنایی کلمات هیچ اثری دیده نمی‌شود. در حالی‌که در سیستم تجزیه‌گر مبتنی بر وابستگی، احتمال حضور کلمات مرتبط با یکدیگر محاسبه می‌گردد. درواقع مدل مورد استفاده در این تجزیه‌گر به‌صورت دوتایی$L = (T, D)$ است که در آن T مدل گرامر مستقل از متن احتمالاتی و D مدل وابستگی مورد نظر است. جهت ساده‌سازی مدل مذکور، استقلال احتمال وقوع هر دو مدل در یک جمله فرض می‌گردد که در آن $P(T, D) = P(T).P(D)$ خواهد شد. $P(T)$ احتمال آن است که ساختار نحوی مذکور ظاهر گردد درحالی‌که $P(D)$ احتمال حضور کلمات آن جمله در کنار یکدیگر است. مقدار $P(T)$ از حاصل‌ضرب احتمال هر یک از قواعد مورد استفاده در تجزیهٔ جمله به‌دست می‌آید و مقدار $P(D)$ از حاصل‌ضرب حضور هر یک از کلمات جمله محاسبه می‌گردد. به‌عنوان مثال، در (شکل ۶) درخت تجزیه و وابستگی جملهٔ شمارهٔ ۲ نشان داده شده است.

(2) Factory payrolls fell in September



(شکل ۶) درخت تجزیه و وابستگی جملهٔ شمارهٔ ۲

مقدار $P(T)$ بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P(T) = P(S \rightarrow NP\ VP).\ P(NP \rightarrow NN\ NNS).\ P(VP \rightarrow VBD\ PP).\ P(PP \rightarrow IN\ NN)$$

درحالی‌که مقدار $P(D)$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} P(D) = {} & P(\text{Fell} \mid \text{payrolls, left}) \times \\ & P(\text{Factory} \mid \text{payrolls, right}) \times \\ & P(\text{START\_SYMBOL} \mid \text{Factory, left}) \times \\ & P(\text{in} \mid \text{fell, right}) \times \\ & P(\text{September} \mid \text{in, left}) \end{aligned}$$

که در آن $P(w_i \mid w_j, dir)$ احتمال ظهور کلمهٔ w_i در جهت dir (چپ یا راست) کلمه w_j است.

احتمال آن‌که یک فعل گروهی توسط تجزیه‌گر احتمالاتی تشخیص داده شود، به میزان وقوع وابستگی حرف اضافه (یا قید) به فعل و احتمال ایجاد ساختار نحوی فعل گروهی در جملات دادگان آزمون بستگی دارد. بنابراین درصورتی‌که یک فعل گروهی به کرّات ظاهر شود، احتمال آن‌که در جملات مشابه نیز به‌درستی توسط سیستم تشخیص داده شود، بالا می‌رود. البته این‌که فعل و حرف اضافه تشکیل یک فعل گروهی دهند، ممکن است بدین‌صورت باشد که بین این دو کلمه، فاصله زیادی وجود داشته باشد و بین آن‌ها یک سازهٔ گروه اسمی وجود داشته

[1] TreeBank
[2] Dependency parser
[3] Constituent
[4] البته در تجزیه‌گرهای بی‌مربی مانند DOP (Bod, R. 2006) صرفاً از خود جملات یا برچسب کلام آن‌ها بدون تجزیهٔ درختی استفاده می‌شود.

باشد. در این حالت وابستگی دور بین فعل و ادات وجود خواهد داشت.

آزمایش‌ها نشان داده است که تجزیه‌گر مذکور دارای مشکلاتی می‌باشد که به‌خصوص در کاربرد مترجم ماشینی در موضوع این مقاله حساسیت زیادی دارد. به‌عنوان مثال، تجزیه‌گر ممکن است که مقولهٔ نحوی کلمه را در جمله درست تشخیص ندهد و درخت حاصل ساختار ناصحیح داشته باشد. این مشکل در خیلی از جملاتی که شامل افعال گروهی هستند به چشم می‌خورد.

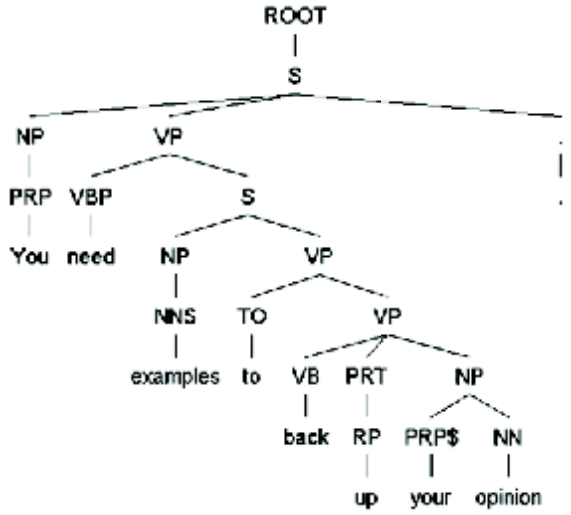
تشخیص افعال گروهی یک زیرمجموعه از تشخیص اصطلاحات چندکلمه‌ای به‌شمار می‌آید که در این مجموعه روش‌های مختلف مبتنی بر دادگان و روش‌های قاعده‌مند وجود دارد*(Seretan, 2011)*. ولی آن‌چه که در کار جاری مورد توجّه است، بهبود میزان تشخیص افعال گروهی توسط یک تجزیه‌گر است که در مرحلهٔ تجزیهٔ یک سیستم مترجم ماشینی اجرا شده است.

۴- بهبود تجزیه افعال گروهی با استفاده از تجزیه‌گر احتمالاتی

جهت بهبود کیفیت تشخیص افعال گروهی توسط تجزیه‌گر استنفورد، ابتدا باید مشخّص شود که آیا تجزیه‌گر مذکور، جمله را دارای فعل گروهی تشخیص داده است یا نه؟ برای این منظور باید کلماتی که می‌توانند بخش دوم فعل گروهی باشند, بررسی شوند. این کلمات حروف اضافه یا قید می‌باشند. درخت تجزیهٔ جمله‌ای که حاوی فعل گروهی تشخیص داده شده است به این صورت است که گروه فعلی، حداقل دو فرزند داشته باشد که یکی از آن‌ها فعل جمله و دیگری حرف اضافه یا قیدی باشد که در ترکیب دیگری شرکت نکرده است. برای این منظور حروف اضافه و قیدهای جمله بررسی شده، درصورتی‌که یکی از آن‌ها سازهٔ خواهر[1] یک فعل باشد، آن جمله حاوی فعل گروهی تشخیص داده شده است. برای مثال در جملهٔ ۳ که درخت تجزیهٔ آن در (شکل ۷) نشان داده شده است، حرف اضافهٔ "up" خواهر فعل "back" است و در اوّلین ترکیبی که شرکت کرده است، گروه فعلی است. درنتیجه جمله دارای فعل گروهی است.

[1] Sibling

(3) You need examples to back up your opinion.



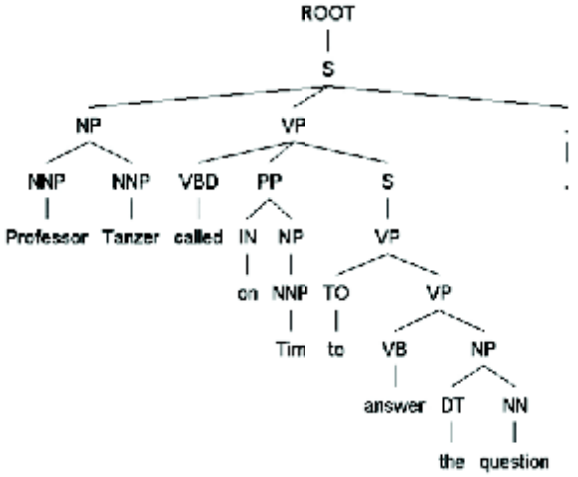
(شکل ۷) درخت تجزیهٔ جملهٔ ۳

درصورتی‌که حرف اضافهٔ بخش دوم فعل گروهی تشخیص داده نشود، با یک اسم ترکیب می‌شود. در این صورت اوّلین ترکیبی که در آن شرکت می‌کند، ترکیب فعلی نمی‌باشد. برای مثال در درخت تجزیهٔ جملهٔ ۴ که در (شکل ۸) نشان داده شده است، حرف اضافه‌ی "on" با فعل جمله ترکیب نشده است. درنتیجه فعل جمله، به‌عنوان فعل گروهی تشخیص داده نشده است. در این حالت معنای جمله در زیر آن مشخّص شده است.

(4) Professor Tanzer called on Tim to answer the question.

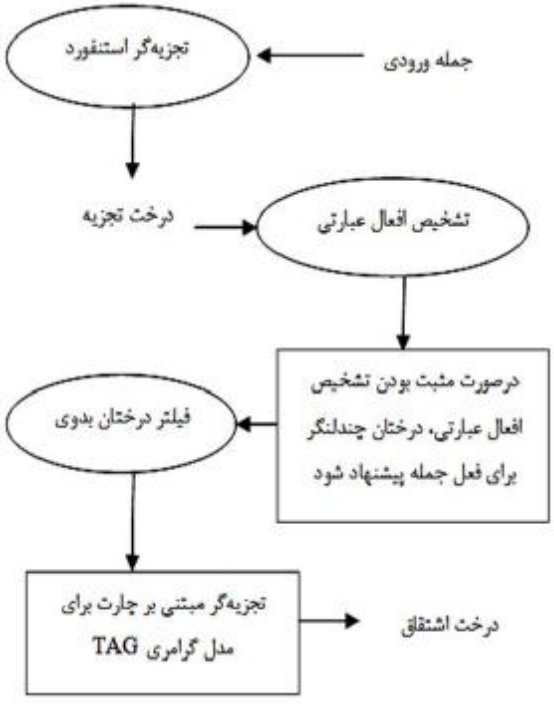
ترجمهٔ فارسی: پروفسور Tanzer، Tim را فراخواند تا پاسخ سؤالات را بدهد.

در صورت تشخیص گروه فعلی با استفاده از تجزیه‌گر احتمالاتی، می‌توان از این شناخت، در مرحلهٔ تجزیه‌گر مبتنی بر مدل TAG استفاده کرده و درخت بدوی چندلنگر برای فعل گروهی در نظر گرفت و درعمل با استفاده از این تجزیه‌گر امکان ابهام‌زدایی برای تجزیه‌گر گرامر مبتنی بر TAG ایجاد کرد. (شکل ۹)، الگوریتم کلی مرحلهٔ تجزیه در سیستم مترجم ماشینی را نشان می‌دهد. در این مرحله با استفاده از مدل TAG و فیلتر تجزیه‌گر احتمالاتی، امکان ایجاد ساختار اشتقاق فراهم می‌آید.



(شکل ۸) درخت تجزیهٔ جملهٔ ۴

پس از ترکیب تجزیه‌گر احتمالاتی با تجزیه‌گر قاعده‌مند مبتنی بر مدل TAG آزمایش‌ها بر روی ۵۲۰ جمله که همگی دارای افعال گروهی هستند دوباره اجرا گردید. این جملات نمونه‌هایی هستند که از مرجع *(List of English Phrasal Verbs, 2010)* انتخاب شده‌اند. از بین ۵۲۰ جمله‌ای که دارای فعل گروهی هستند، تجزیه‌گر استنفورد توانست ۳۶۶ جمله را به‌درستی تشخیص دهد و درعمل درخت تجزیه چندلنگر را برای آن تشخیص دهد. میزان دقّت ابهام‌زدایی در این مرحله به ٪۷۰/۳۸ رسیده است.

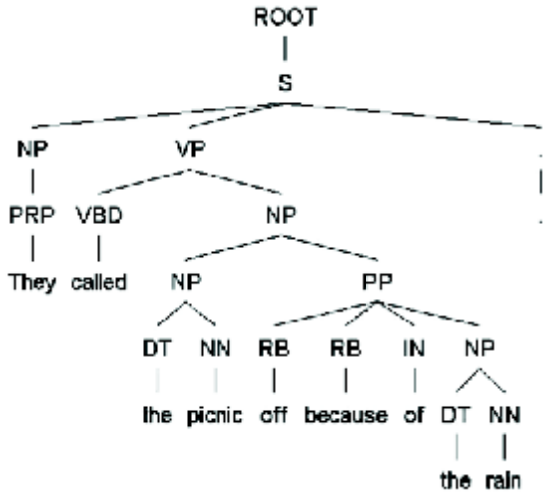


(شکل ۹) الگوریتم تجزیهٔ مبتنی بر مدل TAG

۵- مدل ترکیبی جهت بهبود تشخیص افعال گروهی

با توجّه به آن‌که تجزیه‌گر احتمالاتی با استفاده از احتمال وابستگی و احتمال ساختار گرامر مستقل از متن احتمالاتی، جمله را تجزیه می‌کند، در مواقعی که فعل گروهی در دادگان آزمون تاحدودی کمیاب باشد، یا این‌که حرف اضافه (یا قید) همراه فعل گروهی در ساختارهای دیگر مانند گروه حرف اضافه به کرّات یافت شود، احتمال آن‌که تجزیه‌گر آن را فعل گروهی تشخیص دهد، کم خواهد شد. به‌عنوان مثال جملهٔ شمارهٔ ۵ توسط تجزیه‌گر احتمالاتی بدون فعل گروهی تشخیص داده شده استکه در (شکل ۱۰)، تجزیهٔ آن نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود حرف اضافهٔ "off" به اشتباه به‌عنوان بخشی از یک ترکیب اضافی[1] در نظر گرفته شده است. البتّه این‌که بین فعل و حرف‌اضافه یک سازهٔ اسمی وجود دارد و وابستگی دور در این جمله اتفاق افتاده است، در عدم تشخیص درست مقولهٔ نحوی تأثیرگذار است.

(5) They called the picnic off because of the rain.



(شکل ۱۰) تجزیهٔ نادرست جملهٔ ۵ توسط تجزیه‌گر استنفورد

با بررسی تجزیهٔ ایجاد شده، مشاهده می‌شود که برای کلیهٔ کلمات "off because of the rain"یک گروه حرف اضافه در نظر گرفته است درحالی‌که چنین ساختاری برای گروه حرف اضافه در زبان انگلیسی وجود ندارد. یعنی با وجود آن‌که احتمال:

$$P(T) = P(PP \rightarrow RB\ RB\ IN\ NP)$$

[1] Prepositional phrase

بسیار کم است، ولی به‌دلیل این‌که احتمال وابستگی P(D) = P(off | called, right) بسیار کمتر است، ساختار فوق به اشتباه، خروجی داده شده است و با وجود آن‌که ساختار نحوی تشخیص داده شده، بسیار نادر است، ولی به‌دلیل آن‌که احتمال وابستگی ساختارهای دیگر کم‌تر است، چنین ساختاری به‌طور نادرست خروجی داده شده است.

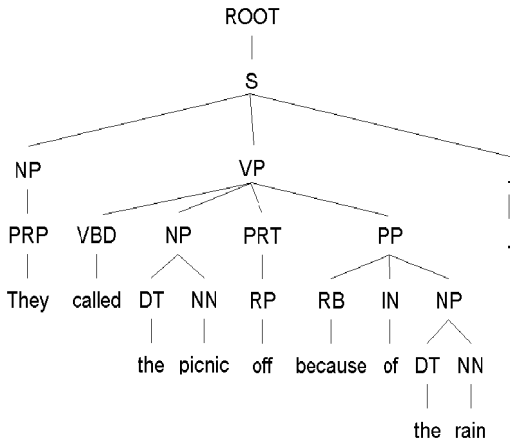
در واقع چنین مشکلی به‌دلیل کمبود دادگان جهت آموزش وابستگی‌های واژگان به‌خصوص در وابستگی‌های مربوط به حرف اضافه (یا قید) با فعل مربوطه در افعال گروهی ایجاد شده است. هم‌چنین وابستگی دور موجود مابین ادات و فعل سبب می‌شود که مشکل دوچندان شود. البته درصورتی‌که دادگان آموزشی به اندازه کافی برای این حالت‌ها (به‌خصوص درحالت وابستگی دور) وجود داشته باشد، نتایج مناسب‌تر خواهند شد.

ایدهٔ اصلی مطرح شده در این پروژه، استفاده از یک سیستم مبتنی بر قاعده جهت تشخیص ناسازگاری‌های موجود در ساختارهای نحوی حاصل از تجزیه‌گر استنفورد می‌باشد. درواقع با استفاده از یک سیستم مبتنی بر قاعده، خروجی‌های تجزیهٔ احتمالاتی بررسی مجدد شده و در صورت تشخیص ناسازگاری، مشکلات ساختاری آن رفع می‌گردد. در سیستم موجود تاکنون دو قاعده برای تشخیص ناسازگاری به‌صورت زیر ارایه شده است:

۵-۱- قاعدهٔ مکاشفه‌ای ۱

در قاعدهٔ مکاشفه‌ای ۱، با توجه به مقولهٔ نحوی کلمه‌ای که بعد از حرف اضافه در جمله می‌آید، گروهی بودن فعل بعضی از جملات تشخیص داده می‌شود. حرف اضافه در جمله، دو نقش می‌تواند داشته باشد یا مربوط به کلمهٔ بعد از آن و یا بخش دوم فعل گروهی باشد *(Megerdoomian, 2004)*. درصورتی‌که حرف اضافه، مربوط به کلمهٔ بعدش باشد، نوع کلمهٔ بعد باید اسم یا گروه اسمی باشد. درنتیجه اگر این کلمه، اسم نباشد به‌حتم بخش دوم فعل است و فعل ما گروهی است. در این تابع مکاشفه‌ای حرف اضافه‌هایی که به‌طورمعمول بخش دوم فعل گروهی نیستند، بررسی نمی‌شوند.

با اعمال تابع مکاشفه‌ای ۱ بر روی مثال (شکل ۱۰)، با مشاهده‌ی حرف اضافهٔ "off" نوع کلمه بعد از آن (because) بررسی می‌شود و چون اسم یا گروه اسمی نیست، فعل جمله، به‌عنوان فعل گروهی تشخیص داده می‌شود. در نتیجه حرف اضافهٔ مذکور به‌عنوان ادات فعل و ترکیب اسمی "the picnic" مفعول جمله در نظر گرفته می‌شود. درخت تجزیهٔ تصحیح شده برای این جمله در (شکل ۱۱) نشان داده شده است:



(شکل ۱۱) تجزیهٔ صحیح جمله ۵

۵-۲- قاعدهٔ مکاشفه‌ای ۲

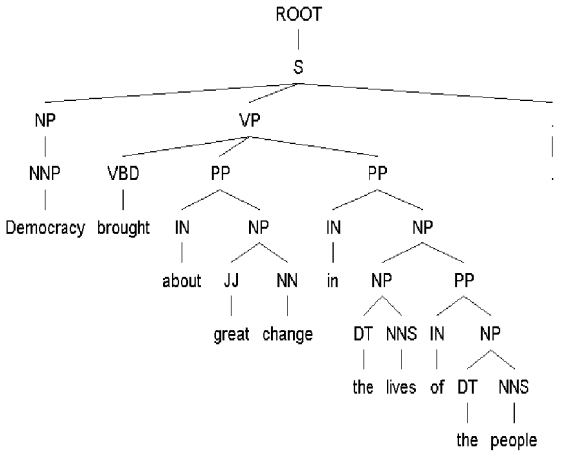
درصورتی‌که تجزیه‌گر استنفورد و قاعدهٔ مکاشفه‌ای، ۱ فعل جمله را به‌عنوان فعل گروهی تشخیص ندهند، وجود مفعول در جمله، بررسی می‌گردد[1] و اگر مفعولی در جمله وجود نداشت، متعدی‌بودن ترکیب فعل جمله با تک‌تک حروف اضافه موجود در جمله را به کمک پایگاه دادهٔ افعال گروهی بررسی می‌شود. اگر یکی از این ترکیب‌ها متعدی باشد، می‌توان نتیجه گرفت که جمله اشتباه تجزیه شده است. تجزیهٔ درست آن به این صورت است که فعل جمله به‌عنوان فعل گروهی است و حرف اضافه‌ای که ترکیبش با فعل متعدی بود، بخش دوم فعل گروهی است و اسم بعد از آن حرف اضافهٔ مفعول جمله است. در (شکل ۱۲) تجزیهٔ جملهٔ ۶ توسط تجزیه‌گر استنفورد نشان داده شده است:

(6) Democracy brought about great change in the lives of the people.

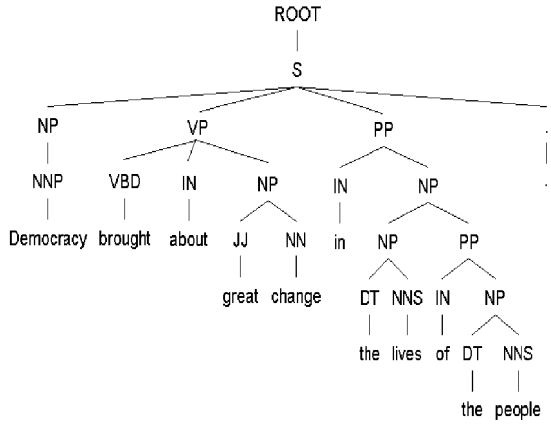
در درخت تجزیهٔ جملهٔ ۶ مشاهده می‌شود که کلمهٔ "about" به‌عنوان حرف اضافهٔ یک گروه حرف اضافه تشخیص داده شده است، درحالی‌که بخش ادات فعل گروهی جمله است.

[1] وجود مفعول در جمله به‌وسیلهٔ تجزیهٔ وابستگی که توسط تجزیه‌گر استنفورد خروجی می‌شود، می‌توان تشخیص داد. درواقع با استفاده از مسند obj(verb, noun) در گرامر وابستگی می‌توان متوجه شد که کدام کلمهٔ مفعول فعل اصلی جمله است.

با توجّه به وابستگی‌هایی که از تجزیه‌گر استنفورد به‌دست می‌آید، مشاهده می‌شود در این جمله مفعولی وجود ندارد. بنابراین متعدی‌بودن ترکیب فعل "brought" با حرف اضافهٔ بعد از آن بررسی می‌شود. مشاهده می‌شود فعل "brought about" یک فعل متعدی است؛ ولی در جملهٔ مذکور مفعولی وجود ندارد. درنتیجه تجزیهٔ جمله نادرست بوده است و فعل گروهی "brought about" فعل جمله و ترکیب اسمی "great change" مفعول جمله است. (شکل ۱۳) درخت تجزیهٔ صحیح را نشان می‌دهد.



(شکل ۱۲): تجزیهٔ نادرست جملهٔ ۶ توسط تجزیه‌گر استنفورد



(شکل ۱۳): تجزیهٔ صحیح جملهٔ ۶

۶- ارزیابی

با توجّه به افزودن یک سیستم مبتنی بر قاعده جهت تشخیص ناسازگاری‌های تجزیه‌های حاصل از تجزیه‌گر احتمالاتی با قواعد زبان‌شناسی، آزمایش‌های قبلی دوباره اجرا شده و نتایج کلی در (جدول ۱) ذکر شده است. این آزمایش‌ها بر روی ۵۲۰ جمله که همگی دارای افعال گروهی هستند، انجام شده است. این جملات از مرجع *(List of English Phrasal Verbs, 2010)* که شامل افعال گروهی انگلیسی است، استخراج شده است. همان‌گونه که در جدول مذکور نشان داده شده است، اعمال این قواعد، سبب افزایش کیفیت تشخیص افعال گروهی از ٪۷۰/۳۸ به ٪۸۶/۹۲ شده است و در مجموع حدود ٪۱۶/۵۴ بهبود یافته است.

همان‌گونه که در جدول نشان داده شده است، با افزایش طول جمله میزان تشخیص افعال گروهی کاهش می‌یابد ولی در هر حالت بهبود کیفیت حاصل از استفاده از قواعد مکاشفه‌ای قابل توجّه است.

هم‌چنین برای بررسی مانعیت این قواعد، تعداد ۵۰۰۰ جملهٔ بدون فعل گروهی به‌صورت تصادفی طوری انتخاب شده است که حروف اضافه یا قیدهایی وجود داشته باشد که می‌توانست به اشتباه با فعل تشکیل یک فعل گروهی دهد. آزمایش‌های فوق دوباره بر روی این جملات اجرا شده و میزان تشخیص افعال گروهی بررسی شده است. از بین ۵۰۰۰ جملهٔ مذکور، تنها دو جمله به‌صورت نادرست، حاوی فعل گروهی تشخیص داده شده است، یعنی حدود ٪۰/۰۴ از جملات، نادرست تشخیص داده شده است که این موضوع دقّت بالای قواعد تعریف شده را نشان می‌دهد.

(جدول ۱) مقایسهٔ کیفیت تجزیه‌گر استنفورد و توابع مکاشفه‌ای

طول جمله	تعداد جملات	درصد تشخیص تجزیه‌گر استنفورد	درصد تشخیص توابع مکاشفه‌ای	درصد بهبود
کمتر از ۱۰ کلمه	۲۷۰	٪۶۹/۲۶	٪۸۷/۷۸	٪۱۸/۵۲
بین ۱۰ و ۲۰ کلمه	۲۴۰	٪۷۲/۰۸	٪۸۵/۸۳	٪۱۳/۷۵
بیشتر از ۲۰ کلمه	۱۰	٪۶۰	٪۸۰	٪۲۰
مجموع	۵۲۰	٪۷۰/۳۸	٪۸۶/۹۲	٪۱۶/۵۴

۷- تشکّر و قدردانی

از آقای فرشاد کوتی و خانم معصومهٔ بختیاری ضیابری که طی دورهٔ کارآموزی در آزمایشگاه پردازش زبان طبیعی دانشگاه تهران، در اجرای این کار کمک شایانی کرده‌اند، تشکّر و قدردانی می‌گردد.

۸- مراجع

Abeille, A., Scabes, Y., 1989. Parsing idioms in tree adjoining grammars, In Proceeding of the Fourth conference of the European chapter of the association for computational linguistics, Manchester, England.

Baldwin, T., *et al.*, 2003. An empirical model of multiword expression decomposability, In Proceeding of the ACL 2003 workshop on Multiword expressions: analysis, acquisition and treatment-Volume 18, pages 89--96. Association for Computational Linguistics.

Bannard, C., 2002. Statistical techniques for automatically inferring the semantics of verb-particle constructions, Master's thesis, University of Edinburgh, Edinburgh, UK.

Cahill, A., 2008. Treebank-Based Probabilistic Phrase Structure Parsing, Language and Linguistics Compass 2/1, 18–40.

Bod, R., 2006. An All-Subtrees Approach to Unsupervised Parsing, In Proceeding of ACL.

Collins, M., 1997. Three generative, lexicalized models for statistical parsing, In Proceeding of ACL.

de la Clergerie, E., Alonso Pardo, M.A., Cabrero Souto, D., 1998. A Tabular Interpretation of Bottom-up Automata for TAG, In Proceeding of TAG+4, Fourth International Workshop on Tree-Adjoining Grammars and R elated Frameworks, pp. 42-45, Philadelphia, PA, USA.

Faili, H., Ghassem-Sani, G., 2004. An Application of Lexicalized Grammar in English-Persian Translation, In Proceeding of 16th European conference on Artificial Intelligence (ECAI 2004), Universidad Pilitecnica de Valencia, Valencia, Spain, pp. 596-600, 24-27.

Fellbaum, C., 1998. WordNet: An Electronic Lexical Database, MIT Press.

Kallmeyer, L., 2010. Parsing Beyond Context-Free Grammars, volume 0 of Cognitive Technologies. Springer.

Klein, D., Manning, C., 2003. Fast Exact Inference with a Factored Model for Natural Language Parsing, In Advances in Neural Information Processing Systems 15 (NIPS 2002), Cambridge, MA: MIT Press, pp. 3-10.

List of English Phrasal Verbs, 2010. http://www .learn-english-today.com/phrasal-verbs /phrasal-verb-list.htm, August.

Megerdoomian, K., 2004. A Semantic Template for Light Verb Constructions, In Proceeding of First Workshop on Persian Language and Computers, Tehran University, Iran. May 25-26.

Mudraya, O., 2008. Automatic Extraction of Translation Equivalents of Phrasal and Light Verbs in English and Russian, In Phraseology: an interdisciplinary perspective, Benjamins, Amsterdam, pp. 293-309.

Monti, J., *et al.*, 2011. Taking on new challenges in multi-word unit processing for Machine Translation, In Proceeding of the Second International Workshop on Free/Open-Source Rule-Based Machine Translation.

McClosky, D., Charniak, E., Johnson, M., 2006. Effective self-training for parsing, In Proceeding of the Human Language Technology Conference of the NAACL, Main Conference, pages 152-159, New York City, USA. Association for Computational Linguistics.

Mitchell, P.M., Marcinkiewicz, M.A., Santorini, B., 1993. Building a large annotated corpus of English: the Penn Treebank, Computational Linguistics - Special issue on using large corpora: II archive Volume 19 Issue 2, June 1993 MIT Press Cambridge, MA, USA.

Peng, X., *et al.*, 2009. Using a dependency parser to improve SMT for subject-object-verb languages, In Proceeding of NAACL/HLT, pages 245–253, June.

Sag, I.A., *et al.*, 2002. Multiword Expressions: A Pain in the Neck for NLP, In Proceeding of the Third International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics (CICLING 2002), Mexico City.

Seretan, V., 2011. Syntax based Collocation Extraction, Springer.

XTAG research group., 2003. A Lexicalized Tree Adjoining Grammar for English, Technical Report IRCS 01-03, Institute for Research in Cognitive Science, University of Pennsylvania.

هشام فیلی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی نرم‌افزار در دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف با رتبهٔ یک، در سال ۱۳۷۶ به پایان رساند. سپس مقاطع کارشناسی ارشد نرم‌افزار و دکتری هوش‌مصنوعی را به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۵ در همان دانشکده تکمیل کرد. از سال ۱۳۸۷ تا کنون عضو هیئت علمی دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقهٔ ایشان عبارتند از: پردازش هوشمند متن و گفتار، مترجم ماشینی، داده‌کاوی، بازیابی اطّلاعات و شبکه‌های اجتماعی.

نشانی رایانامک ایشان عبارتست از:

hfaili@ut.ac.ir