سیزدهمین کنفرانس ملی انجمن کامپیوتر ایران
جزیره کیش، خلیج فارس، ایران
۱۹ الی ۲۱ اسفند ۱۳۸۶
پوستر

توازن بار در شبکه‌ی رویه‌ایِ چندبُعدی RAQNet

سید ایمان میررضایی
کارشناس ارشد
دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر
دانشگاه صنعتی شریف
mirrezaei@ce.sharif.edu

جواد شاهپریان
کارشناس ارشد
دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر
دانشگاه صنعتی شریف
shahparian@ce.sharif.edu

محمد قدسی [۱]
استاد دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر
دانشگاه صنعتی شریف
و مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات
ghodsi@sharif.edu

چکیده: در این مقاله به بررسی مسئله‌ی توازن بار درشبکه‌ی رویه‌ای RAQNetمی‌پردازیم. RAQNet یک شبکه رویه‌ای با فضای جستجوی چند بعدی می‌باشد که ارتباطات این شبکه طوری ایجاد شده که با هم‌بندی شبکه زیرین انطباق بیشتری داشته باشد. در این شبکه گره‌هایی با یکدیگر ارتباط دارند که علاوه بر برچسبهای مشترک، بر اساس هم‌بندی شبکه زیرین هم در مجاورت یکدیگر هستند. انطباق شبکه رویه با شبکه فیزیکی زیرین باعث کاهش تأخیر مسیریابی و کاهش ترافیک بر روی ارتباطات شبکه زیرین می‌شود. به طور کلی انطباق شبکه‌ی رویه با هم‌بندی شبکه زیرین باعث عدم توازن در جدول‌های مسیریابی شبکه رویه می‌شود ولی ما با ارائه راهکار مؤثری این مسئله را در شبکه رویه RAQNet حل نمودیم. ایجاد توازن بین درجه ورودی گره‌های شبکه رویه باعث می‌شود که عمل مسیریابی در شبکه رویه RAQNet به‌صورت متوازن انجام شود و بار ترافیکی محدود به گره‌های خاصی نشود. نتایج ارزیابی‌های ما نشان می‌دهند که الگوریتم پیداکردن نزدیک‌ترین گره در بدترین شرایط نیز به خوبی عمل می‌کند. این الگوریتم لازمه‌ی ایجاد و حفظ انطباق شبکه رویه با هم‌بندی شبکه زیرین است.

واژه‌های کلیدی
شبکه‌ی رویه‌ای، توازن بار، آگاهی از هم‌بندی ، RAQNet

۱ مقدمه

شبکه‌های P2P شبکه‌هایی مجازی هستند که با پروتکل‌های خاصی بر روی شبکه‌های رایج فعلی به خصوص اینترنت ایجاد شده‌اند و هدف اصلی آن‌ها استفاده از منابع موجود و بلااستفاده در گره‌های شبکه می‌باشد. در این شبکه‌ها اصولاً هیچ کنترل مرکزی یا سلسله مراتبی بر روی کل سیستم وجود ندارد و بسیار پویا می‌باشند. شبکه‌های P2P ساخت‌یافته‌ی مختلفی نظیر Chord [۴] و Pastry [۳] وجود دارد. این شبکه‌های رویه‌ای از جدول‌های درهم‌سازی توزیع‌شده استفاده می‌کنند. الگوریتم مسیریابی پیام‌ها و جستجوی داده‌ها در این شبکه‌هااز مرتبه $\log N$ است. Pastry شبکه رویه آگاه از هم‌بندی خود را با انتخاب گره‌های نزدیک می‌سازد و جدول‌های خود را با این مقادیر پر می‌کند. به هر حال انطباق با هم‌بندی زیرین در این شبکه‌ها باعث هزینه‌های زیادی در شبکه رویهPastry شده در نتیجه نگهداری این دو شبکه هزینه زیادی دارد.

در این مقاله ما شبکه رویه RAQNet را مورد توجه قرار می‌دهیم و آگاهی از هم‌بندی و بارگذاری در این شبکه رویه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و نشان می‌دهیم این دو مسئله در شبکه‌های رویه مورد نیاز هستند. فضای جستجو در این شبکه رویه یک فضای چندبعدی است. هزینه جست‌وجو در این شبکه رویه مستقل از ابعاد فضای جست‌وجو است. هر گره به طور متوسط با $\log N$ گره دیگر در شبکه ارتباط دارد. ما شبکه رویه جدید را بر اساس مسیریابی آگاه از هم‌بندی می‌سازیم. بدین ترتیب که یک معیار نزدیکی منطبق بر هم‌بندی شبکه زیرین معرفی کرده‌ایم و هر گره با همسایگانی ارتباط دارد که از لحاظ هم‌بندی شبکه زیرین نیز به یکدیگر نزدیک باشند. در این شبکه هر گره با همسایگانی ارتباط دارد که علاوه بر معادله فضایی مشترک بر اساس معیار نزدیکی روی هم‌بندی نیز در نزدیک یکدیگر باشند. علاوه بر این ما تاثیر آگاهی از هم‌بندی لایه زیرین را بر روی توازن بار شبکه رویه بررسی می‌کنیم و نشان می‌دهیم آگاهی از هم‌بندی در شبکه رویه‌ی RAQNet مسبب عدم توازن چشمگیری در جدول‌های مسیریابی نمی‌شود و این مسئله چالش بزرگی برای این شبکه‌ی رویه‌ای به‌وجود نمی‌آورد. ما همچنین نشان می‌دهیم که الگوریتم پیدا کردن گره نزدیک در شبکه رویه RAQNet کارایی خود را بر روی هم‌بندی‌های متفاوت حفظ می‌نماید. در بخش ۲

[۱] این نویسنده توسط مرکز تحقیقات فیزیک نظری(IPM) (قرارداد شماره CS2386-2-01) حمایت شده است.

مروری بر روی شبکه رویه RAQNet انجام می‌دهیم.نتایج ارزیابی‌ها را در بخش ۳ ارائه می‌کنیم و در نهایت در بخش ۴ به نتیجه‌گیری کار می‌پردازیم.

۲ شبکه رویه RAQNet

هر گره شبکه در شبکه رویه RAQNet [۱] همسایگانش را بر اساس شبکه زیرین خود انتخاب می‌کند و این شبکه رویه دارای ویژگی آگاهی از هم‌بندی است. ما برای این که این خاصیت را در شبکه رویه RAQNet ایجاد کنیم تغییراتی در داده ساختارRAQ [۲] ایجاد کرده‌ایم.

۱.۲ طراحی شبکه رویه RAQNet

فضای جستجو در این شبکه رویه یک فضای منطقی می‌باشد که بین گره‌های شبکه تقسیم می‌شود و هر گره مسئول پاسخ‌گویی به پرس وجوهایی است که نقطه یا نقاط هدف آن‌ها در ناحیه اختصاص داده شده به آن گره قرار دارد. شناسه‌های اختصاص داده شده به گره‌ها اعداد صحیح بدون علامت بوده که از این فضای جستجو به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌شوند. درخت افراز ایده اصلی در ساختار داده RAQ است. درخت افراز فضای پرس‌وجو را بین گره‌های موجود در شبکه تقسیم می‌کند. درخت افراز یک درخت دودویی است. هر گره داخلی در این درخت یک زیرفضا از $\mathcal{S}$ را نشان می‌دهد، ریشه متناظر با کل فضا است. هر گره داخلی متناظر با یک ابر صفحه است که فضا را به دو بخش تقسیم می‌کند. در درخت افراز هر برگ متناظر با یگ گره است، بدین ترتیب به هر برگ (هر گره) ناحیه‌ای تخصیص می‌دهد. گره‌های داخلی سطح اول درخت افراز ناحیه‌ها را بر روی بعد اول تقسیم می‌کنند. گره‌های داخلی سطح دوم بر روی بعد دوم ناحیه‌ها را تقسیم می‌کنند. به همین ترتیب گره‌های داخلی که در سطح mام درخت قرار دارند روی یک بعد همسان اما با مقادیر متفاوت ناحیه‌های متناظرشان را تقسیم می‌کنند. هر گره داخلی با یک ابرفضا عمودی $x = n$ یا افقی $y = m$ هر ناحیه را به دو بخش تقسیم می‌نماید [۱].

۲.۲ جدول‌های مسیریابی در شبکه رویه RAQNet

هر گره دو نوع جدول مسیریابی متفاوت را نگهداری می‌کند یکی جدول مسیریابی و دیگری جدول پرشی است.

- جدول مسیریابی هر مدخل جدول‌های مسیریابی شامل معادله مختصاتی ناحیه گره مورد نظر و آدرس IP آن می‌باشد. جدول مسیریابی ماتریسی با حداکثر $\log n$ سطر و 2^t ستون است.t پارامتر پیکربندی شبکه رویه است که ما آن را ۲ در نظر گرفته‌ایم.
- جدول مسیریابی پرشی شامل یک مجموعه از H گره می‌باشد که هر یک از گره‌های این مجموعه نصف برچسب‌های معادله فضایی‌شان با معادله فضایی گره محلی انطباق دارند. ما تعداد ورودی‌های جدول H را برابر با 2^t یا $2^t * 2$ در نظر گرفته‌ایم.

۳.۲ مسیریابی پیام‌ها

در هر مرحله از الگوریتم مسیریابی سعی می‌شود که پیام به گره‌ای فرستاده شود که برچسب‌های معادله فضایی گره دریافت کننده پیام حداقل در یک سطح بالاتر نسبت به برچسب‌های معادله فضایی گره قبلی با مختصات نقطه پیام مطابقت داشته باشد. اگر چنین گره‌ای وجود نداشته باشد ، گره‌ای پیام را قبول می‌کند که معادله فضایی ناحیه آن به نقطه مقصد نزدیک‌تر باشد و همچنین برچسب معادله فضایی آن بیشترین انطباق را با نقطه مقصد پیام داشته باشد.

۴.۲ نحوه پیدا کردن یک گره نزدیک

هنگام پیوستن گره x به شبکه، گره a باید نزدیک‌ترین گره در شبکه رویه‌ای به گره x باشد. می‌توان از الگوریتمی که در [۱] پیشنهاد شده برای پیدا نمودن نزدیک‌ترین گره استفاده نمود یکی از دلایل جذابیت این الگوریتم این است که نیاز به نگهداری اطلاعات جدیدی در گره‌های شبکه رویه ندارد، بلکه از همان اطلاعات موجود در جدول مسیریابی و جدول پرشی استفاده می‌کند. این الگوریتم پایین به بالا بدین ترتیب است که ابتدا از یک گره که در شبکه حضور دارد تقاضا می‌شود که اعضاء جدول پرشی خود را ارسال نماید. گره x نزدیک‌ترین گره به خودش را از میان جدول پرشی ارسال شده پیدا می‌نماید و از آن گره تعداد سطرهای جدول مسیریابی را می‌گیرد، از پایین ترین سطر جدول مسیریابی گره، نزدیک‌ترین مدخل به خودش را انتخاب می‌کند. در هر مرحله از جدول مسیریابی گره، نزدیک‌ترین مدخل در سطر بعدی را بدست می‌آورد. در هر سطر گره x تعدادی کاوش اجرا می‌کند تا نزدیک‌ترین مدخل هر سطر به خودش را پیدا نماید. همان طورکه در [۱] نشان داده شد تعداد سطرهای جدول مسیریابی حداکثر برابر با $O(\log n)$ است. بنابراین این الگوریتم حداکثر به اندازه $(\log n)$ بار اجرا می‌شود که n تعداد گره‌هایی می‌باشد که در شبکه حضور دارند.

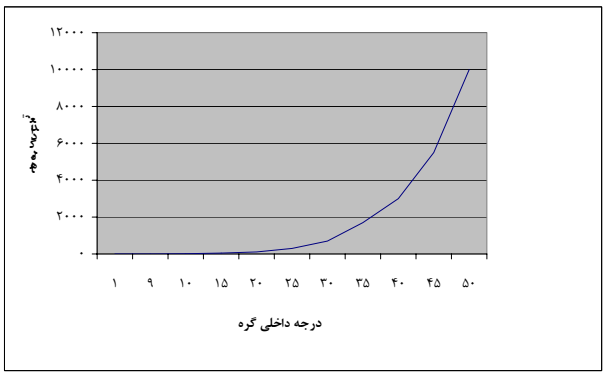
۳ نتایج تجربی

در این بخش نتایج تجربی که از ارزیابی شبکه رویه RAQNet بدست آمده است را ارائه می‌کنیم. اولین هم‌بندی، هم‌بندی کروی است. گره‌های شبکه دراین هم‌بندی به‌طور تصادفی در سطح یک کره با شعاع ۱۰۰۰ قرار می‌گیرند.

معیار نزدیکی گره‌ها در این هم‌بندی، فاصله اقلیدسی است. فضای جستجو شبکه رویه RAQNet را دو بعدی در نظر گرفته‌ایم و یک شبکه رویه با ۱۰۰۰۰ گره ساخته‌ایم. قابل ذکر است که بعد فضای جستجو تاثیری بر روی پیچیدگی مسیریابی ندارد. به هر حال هم‌بندی کروی شرایط یک هم‌بندی واقعی شبکه را ندارد زیرا که گره‌ها را در سطح فضای کره به صورت یکنواخت و تصادفی توزیع می‌کند و نامساوی مثلثی کاملاً درهم‌بندی برقرار می‌باشد. دوّمین هم‌بندی که از آن استفاده کرده‌ایم، هم‌بندی GT-ITM است معیار هم‌بندی بر روی این شبکه زمان تأخیر رفت و برگشت بین دو گره می‌باشد. این مقادیر توسط تولید کننده هم‌بندی گراف GT-ITM فراهم شده است این هم‌بندی به هم‌بندی واقعی شبکه شبیه‌تر است . ضمناً در این هم‌بندی نامساوی مثلثی نیز برقرار نمی‌باشد. در نهایت ما از هم‌بندی Mercator و مدل‌های مسیریابی آن استفاده کردیم. این هم‌بندی دارای مسیریاب‌هایی است که از اندازه‌گیری واقعی شبکه اینترنت بدست آمده است.

۱.۳ توازن بار

ما در این بخش اثر آگاهی از هم‌بندی لایه زیرین را بر روی توازن بار شبکه رویه بررسی می‌کنیم. در حالتی که شبکه رویه بدون آگاهی از هم‌بندی لایه زیرین ساخته می‌شود درجه ورودی هر گره (تعداد مدخل‌های جدول مسیریابی که به یک گره اشاره می‌کند) در سرتاسر شبکه رویه متعادل خواهد بود. یکی از ویژگی‌های مطلوب یک شبکه رویه این است که درجه ورودی گره‌های شرکت کننده در شبکه رویه متوازن باشد زیرا این ویژگی باعث می‌شود که مسیریابی پیام‌ها در سرتاسر شبکه رویه نیز متوازن باقی بماند. هنگامی که مدخل‌های مسیریابی گره x به گره‌هایی اشاره کنند که علاوه بر داشتن پیشوندهای مورد انتظار گره همچنین به گره x نزدیک باشند این ویژگی بر روی توزیع درجه ورودی گره‌ها نیز اثر می‌گذارند به‌طوری که توزیع درجه ورودی گره‌ها به ساختار هم‌بندی زیرین شبکه رویه وابسته می‌شود. بنابراین در شبکه رویه انتخابی بین داشتن آگاهی از هم‌بندی و توازن بار در شبکه بوجود می‌آید. ما در شکل ۳ عدم تعادل در درجه داخلی گره‌ها در شبکه رویه مبتنی بر آگاهی از هم‌بندی را نشان می‌دهیم. در شکل توزیع تجمعی درجه داخلی ۱۰۰۰۰ گره شبکه رویه را نشان می‌دهیم. در این ارزیابی ما از هم‌بندی GATech استفاده کرده‌ایم. همان‌طور که انتظار داشتیم توزیع درجه ورودی گره‌های شبکه رویه کاملا متوازن نیست. بنابراین بهتر است که با این چالش به‌طور شایسته‌ای برخورد شود و به طریقی اثرات آن را در شبکه رویه از بین ببریم. راه‌حلی که پیشنهاد می‌کنیم بدین ترتیب است که وقتی یک گره شبکه رویه که دارای درجه ورودی بسیار بزرگی (این بزرگی در مقایسه با تعداد گره‌هایی که در شبکه فعال هستند سنجیده می‌شود) شود به گره‌هایی که به آن اشاره می‌کنند پیام خطر ارسال می‌کند. گره‌هایی که پیام خطر را دریافت می‌کنند گره دیگری برای آن مدخل جدول مسیریابی خود پیدا می‌کنند برای پیدا کردن گره جدید از همان الگوریتمی که در بخش ۳.۶ [۱] معرفی شده استفاده می‌شود. ارزیابی‌های ما نشان می‌دهد که عدم توازن در درجه ورودی گره‌هایی اتفاق می‌افتد که در بالاترین‌اولین سطرهای جدول مسیریابی قرار دارند، بنابراین جایگزین کردن یک گره با گره دیگر تاثیر چشمگیری بر روی نسبت فاصله در هنگام مسیریابی پیام‌ها نمی‌گذارد. همان‌طور که در [۱] نشان دادیم گره‌های جایگزین زیادی برای سطرهای اول جدول مسیریابی (گره‌هایی که پیشوند اول معادله فضایی آن‌ها با گره محلی انطباق دارد) وجود دارد که با جایگزین کردن آن‌ها فاصله نهایی پیموده شده تغییر چشمگیری نخواهد کرد. ما نتیجه می‌گیریم که با استفاده از راهکار ارائه شده عدم توازن در شبکه رویه را می‌توان پوشش داد و آگاهی از هم‌بندی در شبکه‌های رویه‌ای مسبب عدم توازن چشمگیری در جدول‌های مسیریابی نمی‌شود.



شکل ۱: توزیع درجه داخلی ۱۰۰۰۰ گره شبکه رویه بر روی هم‌بندی GT-ITM

۲.۳ پیدا کردن گره نزدیک

مادر این بخش الگورتیم پیدا گره نزدیک که در بخش ۴.۲ توضیح داده شده را ارزیابی می‌کنیم ابتدا شبکه رویه‌ای با ۱۰۰۰۰ گره می‌سازیم و در هر آزمایش ما دو گره در شبکه رویه را انتخاب کرده‌ایم. در هر مرحله با کمک یکی از گره‌ها می‌خواهیم که نزدیک‌ترین گره به گره دیگر را در شبکه رویه پیدا نماییم. ما این آزمایش را ۱۰۰ بار تکرار کرده‌ایم و نتیجه این ارزیابی را در شکل ۴ نشان می‌دهیم.

الگوریتم شرح داده شده وظیفه دارد که گرهی نزدیک (بر اساس معیار نردیکی مورد نظر) گره جدیدی که می‌خواهد به شبکه رویه بپیوند پیدا نماید. شکل ۴ نتایج این ارزیابی را بر روی سه هم‌بندی مختلف نشان می‌دهد. ستون اول نشان‌دهنده تعداد دفعاتی است که الگوریتم نزدیک‌ترین گره موجود در شبکه رویه را پیدا کرده است. ستون دوم نشان‌دهنده میانگین فاصله‌ای است که بین گره و گرهی که توسط الگوریتم پیشنهادی پیدا شده وجود دارد، در حالتی که نزدیک‌ترین گره پیدا نشده باشد. این فاصله بر اساس معیار نردیکی محاسبه شده است. به همین ترتیب ستون سوم میانگین فاصله بین یک گره و مدخل‌های سطر صفرم جدول مسیریابی گره را نشان می‌دهد. در نهایت ستون چهارم تعداد کاوش‌های انجام شده در هر ارزیابی را نشان می‌دهد.

تعداد کاوش‌ها	میانگین فاصله تا مدخل‌های سطر صفر	میانگین فاصله	پیدا کردن گره نزدیک	
۱۵۰	۳۸	۱۳	٪۹۴	هم‌بندی کروی
۲۵۰	۳۰	۸۷	٪۸۰	هم‌بندی GT-ITM
۲۷۰	۸	۸	٪۳۸	هم‌بندی Mercator

شکل۲: نتایج مربوط به الگوریتم پیداکردن نزدیک‌ترین گره

٪۹۵ گره‌هایی که توسط الگوریتم در هم‌بندی کروی پیدا شده نزدیک‌ترین گره به گره مورد نظربوده‌اند. هنگامی که گره نردیکی پیدا نشود، میانگین فاصله گره پیدا شده تا میانگین فاصله با مدخل‌های سطر اول جدول مسیریابی گره به‌طور چشمگیری کمتر است. در هم‌بندی Mercator تعداد دفعاتی که نزدیک‌ترین گره پیدا شده است اندک است. نتایج ارزیابی در هم‌بندی GATec نیز قابل توجه است در بخش عمده‌ای از آزمایش همواره نزدیک‌ترین گره به گره نزدیک پیدا شده(تقریباً ٪۸۴) است اما میانگین فاصله در صورتی که نزدیک‌ترین گره پیدا نشود نیز بالا است. زیرا که این هم‌بندی دارای ساختار بسیار منظمی می‌باشد به‌طوری که باعث می‌شود که در بعضی مواقع الگوریتم برای پیدا کردن نزدیک‌ترین گره محلی در تله گرفتار شود. به هر حال الگوریتمی که برای پیدا کردن نزدیک‌ترین گره محلی پیشنهاد کرده‌ایم الگوریتم موثری است . نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که این الگوریتم به گره‌های جدیدی که می‌خواهند به شبکه رویه بپیوندند کمک می‌کند که نزدیک‌ترین گره موجود در شبکه رویه راپیدا نمایند.

۴ نتیجه

در این مقاله ما مسئله توازن بار در شبکه رویه‌ای RAQNet را بررسی کردیم. ویژگی شبکه رویه‌ی RAQNet این است که ارتباط‌های بین گره‌ها علاوه بر قاعده ارتباطی داده‌ساختار پایه، بر پایه هم‌بندی شبکه زیرینِ نیز می‌باشد، در نتیجه ارتباط گره‌های شبکه رویه پیشنهادی انطباق بیشتری با هم‌بندی شبکه زیرین خود دارد و در نتیجه باعث کاهش تاخیر مسیریابی ، کاهش ترافیک بر روی ارتباطات شبکه زیرین می‌شود. ما نشان دادیم که عدم توازن در شبکه رویهRAQNet سبب عدم توازن در شبکه رویه نمی‌شود و این مسئله مشکلی برای شبکه رویه RAQNet بوجود نمی‌آورد. همچنین مسیریابی پیام‌ها در سراسر شبکه رویه نیز متعادل باقی می‌ماند. همچنین نشان دادیم الگوریتمی که برای پیدا کردن نزدیک‌ترین گره درشبکه رویه استفاده شده در هم‌بندی‌های متفاوت می‌تواند کارایی خود را حفظ نماید. گام بعدی در این مسئله می‌تواند افزایش قابلیت اطمینان و تحمل پذیری خطا در شبکه رویه RAQNet باشد به‌طوری که با ورود و خروج گره‌ها همچنان کارایی خود را حفظ نماید و می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار بگیرد.

مراجع

[1] Seyed Iman Mirrezaei, J. Shahparian, M. Ghodsi, RAQNet: A Topology-Aware Overlay Network, to appear, AIMS'2007, LNCS 4543 by Springer-Verlog, pp. 13-24, 2007.

[2] H. Nazerzadeh, M. Ghodsi. RAQ: A Range-Queriable Distributed Data Structure. In Proc. the 31st Annual Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics (SOFSEM 2005), LNCS 3381, pp. 264272, 2005.

[3] A. I. T. Rowstron and P. Druschel. Pastry: Scalable, decentralized object location, and routing for large-scale peer-to-peer systems. In IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms (Middleware 2001), pages 329-350, 2001.

[4] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications. In Proc. ACM SIGCOMM 2001, pages 149-160, 2001.