بهینه‌سازی الگوریتم‌های فشرده‌سازی LZ۷۸ در تعیین موقعیت کاربران مخابرات سیار

سید محمدرضا میرصراف، علی موقر رحیم‌آبادی و محمد حکاک

چکیده: در این مقاله برای به روز رسانی موقعیت کاربر متحرک، دو الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و الگوریتم فشرده‌سازی پیشنهادی (LZ۷۸ بهبود یافته) برای شبکه‌های PCS معرفی شده است. مسائل مربوط به پیاده‌سازی الگوریتم فشرده‌سازی، نیاز به حافظه فرهنگ لغات در کاربر متحرک و پایگاه داده HLR و ابهام در آخرین موقعیت کاربر متحرک به دلیل تأخیر در به روز رسانی موقعیت می‌باشد. حسن استفاده ازاین الگوریتم کاهش تعداد به روز رسانی موقعیت کاربر متحرک است. با ایجاد تغییراتی در به کارگیری الگوریتم LZ۷۸ ما توانسته‌ایم مسائل پیاده‌سازی الگوریتم را کاهش داده و آن را برای اعمال در شبکه‌های PCS پیشنهاد دهیم. این تغییرات حاصل از ترکیب الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه و ارسال نمادهائی متناظر با همسایگی‌های هر سلول به جای ارسال شناسه سلول در الگوریتم فشرده‌سازی می‌باشد.

برای مقایسه الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتمLZ۷۸ بهبود یافته (روش پیشنهادی) از شبیه‌سازی استفاده شده است. در برنامه شبیه‌سازی ساختار شبکه PCS بصورت سلولهای مربعی و سلولهای شش ضلعی در نظر گرفته شده و از دو مدل حرکتی جهت دار و همه جهته استفاده شده است. پارامترهای خروجی برنامه کاهش تعداد به روز رسانی، حداکثر ابهام در موقعیت کاربر و حجم حافظه فرهنگ لغات برای الگوریتم فشرده‌سازی است پس از مقایسه دو الگوریتم توسط شبیه‌سازی نتیجه می‌گیریم که الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته ازنظر کاهش تعداد به روزرسانی، حداکثر ابهام درموقعیت کاربر و حجم حافظه فرهنگ لغات دارای کارایی بسیار بالاتری نسبت به الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد.

درانتها هزینه مکان‌یابی موقعیت کاربر متحرک، بر حسب پارامتر تعداد متوسط مکالمه به متوسط حرکت برای سه الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه، الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه شده است. این مقایسه کارائی بالاتر الگوریتم LZ۷۸ را مشخص می‌کند.

***کلید واژه:* مخابرات سیار، فراخوانی و به روزرسانی موقعیت، فشرده‌سازی داده، الگوریتمهای LZ۷۸ و الگوریتم بهبودیافته LZ۷۸، الگوریتم به روزرسانی فاصله پایه و پایگاه داده HLR.**

۱- مقدمه

تعقیب موقعیت کاربر متحرک یکی از کارکردهای ضروری در شبکه‌های مخابرات سیار می‌باشد. عمل تعقیب کاربر متحرک در سلولهای مختلف شبکه PCS[1] را مدیریت موقعیت کاربر متحرک می‌نامند. آزادی کاربر متحرک باعث ابهام در مورد مکانی می‌گردد، که در آن کاربر متحرک موقعیت خود را به ثبت رسانیده است. شبکه PCS باید بر این ابهام درموقعیت در هنگام تحویل موفقیت آمیز مکالمات وارد شونده غلبه نماید. جهت مقابله با از دست رفتن مکالمه وارد شونده، اتصال باید در محدوده زمانی مجاز به کاربر متحرک برقرارگردد، (در حالی که مبادله پیام نیز حداقل باشد) انتقال پیامهای بیش از نیاز، باعث اتلاف منابع ارزشمندی از قبیل پهنای باند کمیاب در انتقال بدون سیم و پردازشهای بیشتر در تجهیزات شبکه موبایل شده و در نتیجه هزینه کارکرد از آنچه در نهایت قابل تحمل است بیشتر می‌گردد. شبکه بدون سیم PCS بر روی ساختار سلولی بنا نهاده شده است. ناحیه سرویس به مجموعه‌ای از سلولها تقسیم شده که هر سلول توسط یک ایستگاه اصلی[2] سرویس داده می‌شود. چندین ایستگاه اصلی به یک کنترل‌کننده ایستگاه اصلی[3] متصل بوده و چندین کنترل‌کننده ایستگاه اصلی به یک مرکز سوییچ موبایل[4] متصل است.

مدیریت موقعیت به صورت کلی شامل دو نوع فعالیت است که یکی از فعالیتها از طرف سیستم بوده و فعالیت دیگر از طرف کاربر متحرک می‌باشد. به محض ورود یک مکالمه، سیستم جستجو را برای یافتن کاربر متحرک آغاز می‌کند به این منظور تمام سلولهایی که احتمالاً کاربر متحرک در آن قرار دارد بطور همزمان فراخوانی می‌شود. در این حالت موقعیت کاربر متحرک از پایگاه داده HLR[5] پرسیده می‌شود و این پایگاه داده ایستگاه‌های اصلی را تعیین می‌کند. سپس مرکز سوئیچ موبایل پیام فراخوانی را بر روی کانالهای از قبل تخصیص یافته[6] توسط ایستگاه‌های اصلی ارسال می‌کند. تمام کاربران متحرک به پیام فراخوانی گوش داده و تنها کاربر مقصد به این پیام پاسخ می‌دهد. این عمل جستجو را فراخوانی[7] می‌نامند. جهت کاهش ابهام در مورد موقعیت کاربر متحرک و جلوگیری از فراخوانی تمام ایستگاههای اصلی موجود در شبکه موبایل کاربر متحرک موظف است که موقعیت خود را در زمانهای خاصی ارسال نماید. این گزارش را به روز آوری موقعیت[8] یا ثبت موقعیت می‌نامند که محدوده جستجو را برای فراخوانی محدود می‌سازد.

یکی دیگر از این فعالیتها ثبت موقعیت یا به روز رسانی موقعیت است. به روز رسانی نقش مهمی در تعقیب کاربر متحرک و چگونگی روال فراخوانی آن در سیستم‌های PCS دارد. هنگامی که کاربر متحرک ناحیه موقعیتی[9] خود را که شامل یک یا چند سلول است تغییر دهد اطلاعات موقعیت که در HLR ذخیره شده باید به روز رسانی گردد. به روز رسانی موقعیت باعث تولید ترافیک در دسترسی رادیویی و همچنین در مواردی

این مقاله در تاریخ ۵ خرداد ماه ۱۳۸۲ دریافت و در تاریخ ۱۲ آذر ماه ۱۳۸۲ بازنگری شد

سید محمدرضا میرصراف، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، (email: mirsarraf@yahoo.com).

علی موقر رحیم‌آبادی، دانشکده کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

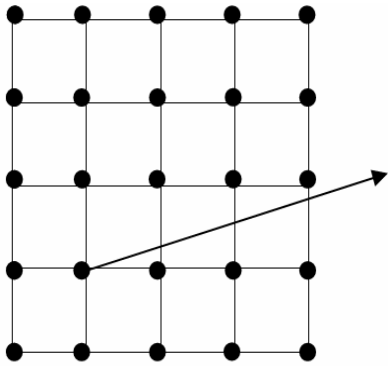
محمد حکاک، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

1. Personal Communication System

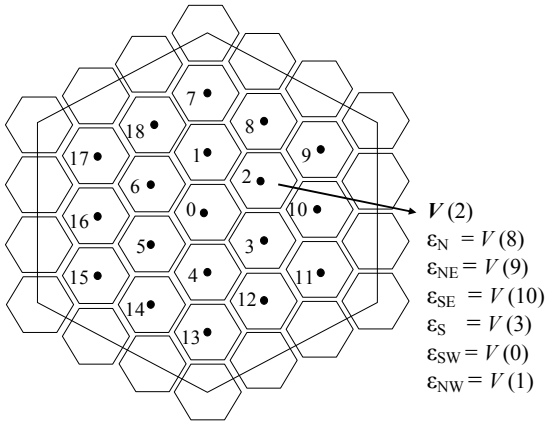
2. Base Station
3. Base Station Controller
4. Mobile Switching Center
5. Home Location Register
6. Forward Control Channel
7. Paging
8. Location Updating
9. Location Area

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: ساختارسلول مربعی و Sq_size= ۵.



شکل ۲: ساختار سلول شش ضلعی در حالت Cell-No=۱۹

باعث تولید ترافیک سیگنالینگ در سیستم می‌شود. دانستن موقعیت دقیق ایستگاه متحرک باعث کاهش زمان برقراری مکالمه‌های وارد شونده گشته و هزینه فراخوانی را کاهش می‌دهد. ردگیری ناحیه موقعیتی کاربر متحرک نیازمند تراکنش فراوان مابین ایستگاه‌های اصلی و پایگاه داده HLR می‌گردد. کاهش این تراکنش یکی از اهداف جهت مدیریت مکان‌یابی مؤثر می‌باشد [۱] و [۲].

هنگامی که ناحیه موقعیتی شامل گروهی از سلولها باشد که به صورت دائمی برای تمام کاربران متحرک به صورت ثابت تخصیص یافته باشد، مدیریت تحرک را ایستا می‌نامند. مدیریت تحرک پویا مدیریتی است که قابلیت تطبیق بیشتری باخصوصیات تحرک کاربر متحرک دارد. در این روش پارامترهای مرتبط با تحرک کاربر به گونه‌ای تعیین می‌شوند که ترافیک سیگنالینگی برای تعقیب کاربر حداقل گردد. تکنیکهای زمان پایه[1]، حرکت پایه[2] و فاصله پایه[3] روشهای شناخته شده مدیریت تحرک پویا می‌باشند [۳] تا [۱۰]. در روش زمان پایه [۳] و [۹]، کاربر متحرک به صورت متناوب عمل به روز آوری موقعیت را در فواصل زمانی معین انجام می‌دهد. در روش حرکت پایه [۵] و [۶] به روز رسانی موقعیت پس از عبور از تعداد معینی سلول انجام می‌گردد. در روش فاصله پایه [۶] تا [۸] و [۱۰] عمل به روز رسانی موقعیت هنگامی انجام می‌شود که فاصله کنونی سلول از آخرین سلول به ثبت رسیده از یک آستانه تعریف شده بیشتر گردد.

روشهای پویای دیگری برای مدیریت تحرک وجود دارد. در مرجع [۱۱] تکنیک به روز رسانی موقعیت انتخابی معرفی شده است. در این روش به روز رسانی موقعیت برای تمام ناحیه‌های موقعیتی اجرا نمی شود و بعضی از ناحیه‌های موقعیتی برحسب احتمال گذار و زمان استقرار آنها حذف می‌گردند. یک روش دیگر تکنیک به روز رسانی موقعیت بر پایه حالت می‌باشد [۱۲] در این روش کاربر متحرک تصمیم می‌گیرد که به روز رسانی موقعیت خود را بر اساس حالت موجود خود به روز رسانی نماید. سیاستهای مرتبط با ترکیب روشهای شناخته شده از قبیل ترکیب زمان پایه و فاصله پایه در مراجع [۱۳] و [۱۴] معرفی شده‌اند.یک گروه دیگر برای به روز رسانی موقعیت بر پایه رخ نمون[4] کاربر و داده‌های مربوط به گذشته کاربر است. در استراتژی جایگزین[5] تعقیب کاربر متحرک بر اساس الگوی حرکت برای هر کاربر متحرک انجام می‌شود. در این الگوها یک لیست از موقعیتهای کاربر بر اساس احتمالات قرارگیری کاربر متحرک تعیین می‌شود.

در مقاله [۱۵] به روز رسانی با استفاده از الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ مطرح می‌شود و با توجه به تئوری اطلاعات، میزان آنتروپی یعنی عدم قطعیت در موقعیت کاربر متحرک به عنوان حداقل نرخ به روز رسانی تعریف می‌شود. در این دیدگاه اطلاعات موقعیت به صورت یک دنباله در نظر گرفته می‌شود که ما بین کاربر متحرک (منبع ارسال اطلاعات) و پایگاه داده HLR (مقصد دریافت اطلاعات) مبادله می‌گردد. با ساخت و نگهداری یک فرهنگ لغات برای مسیرهایی که کاربر متحرک در آن حرکت می‌کند می‌توان رخ نمونی از مسیر حرکت کاربر متحرک را آموزش داد. فشرده‌سازی موقعیت کاربر متحرک، که مسیرهائی با طولهای متغیر را طی می‌کند، توسط کدهایی با طول ثابت در الگوریتم LZ۷۸ انجام می‌شود. به این ترتیب تعداد به روز رسانی کاهش یافته و با پیشگویی الگوی حرکت می‌توان هزینه فراخوانی را کاهش داد.

در این مقاله روش الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ تشریح شده و به دنبال آن تغییراتی در بکارگیری آن پیشنهاد می‌گردد که آن را الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته نامیده‌ایم. جهت مقایسه بهبود کارکرد در الگوریتم بهبود یافته به شبیه‌سازی این دو الگوریتم پرداخته‌ایم. نتیجه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته باحجم حافظه فرهنگ لغات کمتر، نرخ به روز رسانی پایین‌تر و کاهش فاصله ابهام به یک مقدار ثابت و تعریف شده دارای کارایی بهتری نسبت به الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد. از آنجا که در الگوریتم بهبود یافته از به روز رسانی فاصله پایه استفاده شده است، هزینه مکان‌یابی را برای سه روش به روز رسانی فاصله پایه، الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه نموده و کارائی بالاتر الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته را مشاهده می‌کنیم.

در برنامه شبیه‌سازی از دو نوع ساختار سلولی به صورت سلولهای مربعی و سلولهای شش ضلعی استفاده می‌شود. برای حرکت کاربر نیز دو الگوی حرکتی مختلف معرفی شده است. ابتدای مقاله به معرفی ساختار سلولهای مربعی و شش ضلعی پرداخته و سپس مدل حرکت کاربر معرفی می‌شود. در ادامه به تشریح دو روال فشرده‌سازی شامل الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم پیشنهادی یعنی الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته می‌پردازیم. در فصل بعد الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته از نظر کاهش به روز رسانی موقعیت، حداکثر ابهام و حجم فرهنگ لغات مقایسه می‌شوند. در نهایت تابع هزینه برای سه روش به روز رسانی الگوریتم LZ۷۸ به روزرسانی فاصله پایه و به روزرسانی الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه می‌شوند. درفصل آخر به نتیجه گیری می‌پردازیم.

1. Time Based Location Managment
2. Movement Based Location Managment
3. Distance Based Location Managment
4. User Profiles
5. Alternative Strategy

Archive of SID
www.SID.ir

۲- معرفی ساختار سلول مربعی

ساختار شبکه سیار به صورت یک گراف $G=(V,E)$ تعریف می‌شود که V نشانگر یک ناحیه موقعیتی LA بوده و مجموعه همسایه‌ها به صورت $\boldsymbol{\varepsilon}$ تعریف می‌شوند که دارای مرکز مشترک با ناحیه موقعیتی هستند. در ساختار مربعی هرگره V که به صورت یک زوج (i,j) آدرس‌دهی شده است. مقادیر $\boldsymbol{\varepsilon}$ به صورت $\varepsilon_N=(i,j-1)$ و $\varepsilon_S=(i,j+1)$ و $\varepsilon_E=(i-1,j)$ و $\varepsilon_W=(i+j)$ برای نقاط غیر مرزی می‌باشد. این ساختار مربعی دارای چهار ضلع محدود کننده شبکه یعنی ضلع شمالی، جنوبی، شرقی و غربی می‌باشد. جهت عدم توقف کاربر در مرزهای این ساختار همسایگی‌ها در ضلع شمالی به صورت $\varepsilon_N=\varepsilon_S=(i,j-1)$ در ضلع جنوبی $\varepsilon_S=\varepsilon_N=(i,j+1)$ در ضلع غربی $\varepsilon_W=\varepsilon_E=(i+1,j)$ و در ضلع شرقی $\varepsilon_E=\varepsilon_W=(i-1,j)$ می‌باشد. بنابراین اگر طول محدود شبکه را Sq-size در نظر بگیریم ساختار شبکه موبایل برای Sq-size=۵ به صورت شکل ۱ خواهد بود.

۲-۱ معرفی ساختار سلول شش ضلعی

در ساختار شش ضلعی هر گره V با یک شماره صحیح تعریف می‌شود برای هر سلول شش همسایه وجود دارد. این همسایه‌ها عبارتند از همسایه شمالی ε_N ،همسایه شمال غربی ε_{NW}،همسایه شمال شرقی $\boldsymbol{\varepsilon}_{NE}$، همسایه جنوبی $\boldsymbol{\varepsilon}_S$، همسایه جنوب غربی $\boldsymbol{\varepsilon}_{SW}$و همسایه جنوب شرقی ε_{SE}. این سلولهای شش ضلعی به صورت دایروی در کنار یکدیگر قرار گرفته ودر نهایت توسط یک شش ضلعی محدود می‌شود. اضلاع شش ضلعی محدود کننده این ساختار عبارتند از ضلع شمال شرقی ،ضلع شمال غربی، ضلع غربی، ضلع شرقی، ضلع جنوب غربی و ضلع جنوب شرقی (شکل ۲) قانون حرکت در سلولهای مرزی به این قرار است که در زمان رسیدن کاربر متحرک به این سلولها مرزی انعکاس حول محور عمودی بر ضلع مرزی ایجاد می‌شود. به عنوان مثال اگر در شکل ۲ کاربر از سلول ۲ به سلول مرزی ۱۰ برود پس از انعکاس به سلول ۳ وارد خواهد شد.

۳- الگوهای حرکتی کاربر متحرک

در این مقاله دو الگوی حرکتی برای کاربر در نظر گرفته می‌شود که این دو الگو به قرار زیر می‌باشد:

۳-۱ مدل حرکتی کاربر جهت دار

در ساختار سلولی مربعی برای این الگو در هر گره احتمال اقامت را برابر $M-1$ و احتمال حرکت به گره‌های همسایه را M در نظر می‌گیریم. حال برای کاربر متحرک یک جهت حرکت در نظر می‌گیریم. احتمال حرکت در این جهت برابر $M-M/N$ خواهد بود. N پارامتری تصادفی است که حرکت کاربر متحرک را در مسیری غیر از جهت حرکت هدایت می‌کند. پس از تخصیص احتمال در جهت حرکت و احتمال اقامت در سلول مقدار احتمال M/N باقی خواهد ماند که این احتمال به دو قسمت مساوی برای حرکت در جهت‌های عمود به جهت حرکت کاربر اختصاص می‌یابد. بنابراین اگر جهت حرکت به سمت شمال باشد. احتمال حرکت به سمت شمال برابر $M-M/N$ ،احتمال حرکت به سمت جنوب برابر صفر، احتمال حرکت به سمت شرق $M/2N$ و احتمال حرکت به سمت غرب برابر $M/2N$ خواهد بود. این احتمالات را می‌توان در جدول ۱ نشان داد.

جدول ۱: احتمالات الگوی حرکتی جهت دار.

مجموع احتمالات	حرکت در احتمال جهت عمودی دیگر	حرکت در احتمال یکی از جهت های عمودی	احتمال حرکت در جهت حرکت	احتمال اقامت در سلول
۱	$\frac{M}{2N}$	$\frac{M}{2N}$	$M-\frac{M}{N}$	$1-M$

در ساختار سلول شش ضلعی از همین الگوی حرکتی استفاده می‌شود. با این تفاوت که به جای حرکت در جهت‌های عمودی با احتمال $M/2N$ در ساختار مربعی از تغییر مسیر به سمت دو ضلع جانبی مسیر حرکت استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر جهت حرکت به سمت شمال باشد احتمال حرکت به سمت شمال برابر $M-M/N$، احتمال حرکت به شمال غربی برابر $M/2N$ و احتمال حرکت به سمت شمال شرقی $M/2N$ می‌گردد. در این حالت احتمال اقامت در سلول‌ها مانند ساختار سلول مربعی برابر $1-M$ می‌باشد. اگر برای کاربر جهت حرکت در نظر نگیریم احتمال حرکت در همه جهت‌ها با یکدیگر برابر است. در اینجا به معرفی این الگوی حرکتی می‌پردازیم.

۳-۲ الگوی حرکتی همه جهته کاربر

در این الگوی حرکتی احتمال اقامت کاربر متحرک در همان سلول برابر $1-M$ بوده و در ساختار سلول مربعی احتمال حرکت به هر یک از چهار همسایه شمال، جنوب، شرق و غرب برابر $M/4$ است. در مورد ساختار سلول شش ضلعی احتمال حرکت به هر یک از ۶ همسایه شمال، شمال غربی، شمال شرقی، جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی برابر $M/6$ می‌گردد.

۴- معرفی روشهای مختلف فشرده سازی

در اینجا دو روش فشرده‌سازی LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته معرفی گردیده است. درابتدا الگوریتم LZ۷۸ تشریح شده [۱۶] و به دنبال آن تغییراتی در این الگوریتم داده شده است. انجام این تغییرات به ارائه الگوریتم جدیدی بنام LZ۷۸ بهبود یافته منجر می‌گردد.

۴-۱ معرفی فشرده‌سازی LZ۷۸

تکنیک فشرده‌سازی فرهنگ لغات بر پایه دنباله توسط Lempel و Ziv در سال ۱۹۷۸ بنا نهاده شد. در تکنیک LZ۷۸ فرایند بخش‌بندی[1] به کار می‌رود که در آن هر عبارت معرف طولانی‌ترین عبارت از قبل مشاهده شده به همراه کاراکتر اضافه شده به آن است. در مرحله بعد هر عبارت به صورت یک اندیس به این پیشوند[2] به علاوه یک کاراکتر کد می‌شود. کد تولید شده به لیست عبارتهای ذخیره شده در فرهنگ لغات در دیکدر اضافه می‌شود.

جهت نمایش کارکرد الگوریتم LZ۷۸ دنباله موقعیتهای aaabaaadaabaad را در نظر می‌گیریم. در جدول ۲ تجزیه این دنباله به هشت زیر دنباله را مشاهده می‌کنید. هر زیر دنباله، متشکل از عبارتی است که قبلاً اتفاق افتاده و در انتهای ان یک کاراکتر جدید قرار گرفته است. اگر ورودی برای اولین با ر مشاهده شده باشد و به عبارتی در فرهنگ لغات ثبت نشده باشد، عبارت Φ به جای اندیس عبارت از قبل اتفاق افتاده قرار می‌گیرد. هر زوج دو تایی ارسالی به دیکدر به صورت

1. Phrasing
2. Prefix

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: فشرده‌سازی توسط الگوریتم LZ۷۸.

String	a	aa	b	aaa	d	aab	aad
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Input	a	aa	b	aaa	d	aab	aad
Pharse no	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Output	$(۰,a)$	$(۱,a)$	$(۰,b)$	$(۲,a)$	$(۰,d)$	$(۲,b)$	$(۲,d)$

(i,n) می‌باشد که دیکدر باید از روی i عبارت قبلی را از فرهنگ لغات استخراج نموده و آن را به کاراکتر n بچسباند و عبارت جدید را در فرهنگ لغات ثبت نماید.

در آغاز فرهنگ لغات LZ۷۸ شامل کاراکتر صفر است بنابراین اولین کاراکتر که باید پردازش شود در داخل فرهنگ لغات نیست بنابراین زوج کد شده به صورت (۰,a) خواهد بود سپس a در فرهنگ لغات در موقعیت (۱) قرار می‌گیرد. زیر دنباله aa را می‌توان توسط اندیس ۱ یعنی محل a در ابتدای فرهنگ لغات و کاراکتر اضافه شده بعدی یعنی a کد نمود. دراین حالت خروجی انکدر به صورت (۱,a) شده و زیر دنباله <aa> در مکان دوم فرهنگ لغات ذخیره می‌شود. از آنجا که b در فرهنگ لغات نمی‌باشد به صورت (۰,b) کد شده و b در مکان سوم فرهنگ لغات ذخیره می‌شود. حال به زیر دنباله "aaa" می‌رسیم که اندیس aa برای آن در فرهنگ لغات در محل ۲ می‌باشد بنابراین خروجی انکدر به صورت (۲,a) خواهد بود. عبارت aaa در محل چهارم فرهنگ لغات ذخیره می‌شود. به خاطر اینکه d قبلاً کد نشده است خروجی انکدر به صورت (۰,d) گردیده و d در محل پنجم فرهنگ لغات ذخیره می‌شود. زیر دنباله بعدی aab است که به صورت (۱,b) کد شده و aab در خانه ششم فرهنگ لغات ذخیره می‌گردد. در جدول ۲ انکدینگ این دنباله مشاهده می‌شود.

هنگام به کارگیری الگوریتم LZ۷۸ دنباله موقعیتها که در این مثال با حرف انگلیسی معرفی شده است شناسه سلول می‌باشد که توسط اعداد مشخص می‌شوند.

۲-۴ معرفی فشرده‌سازی LZ۷۸ بهبود یافته

برای بهبود عملکرد فشرده‌سازی LZ۷۸ به دو نکته توجه شده است. نکته اول مقابله با مشکل ذاتی الگوریتم است که با افزایش زمان فشرده‌سازی طول الگوهای تعریف شده در فرهنگ لغات افزایش یافته و با تکرار این الگوها به روز رسانی تا تولید یک الگوی جدید متوقف می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش ذخیره‌سازی الگوها در فرهنگ لغات فاصله زمانی ما بین به روز رسانی افزایش یافته و کاربر متحرک بدون آن که موقعیت خود را گزارش داده باشد در فواصل دورتری از آخرین به روز رسانی قرار می‌گیرد. حداکثر این فاصله را که با توجه به طول دنباله ذخیره شده در فرهنگ لغات تعیین می‌شود، فاصله ابهام می‌نامیم. برای محدود نمودن فاصله ابهام در الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ به روز رسانی فاصله پایه را با این الگوریتم ترکیب می‌کنیم. در الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه بعد از آن که فاصله تعداد سلولها برای کاربر متحرک با آخرین زمان به روز رسانی بیشتر از یک آستانه معین گردد، به روز رسانی انجام می‌شود. با ترکیب این الگوریتم و فشرده‌سازی LZ۷۸ بهبود یافته بر اساس دو قانون عمل به روز رسانی را انجام می‌دهد.

اولین قانون به روز رسانی، بکارگیری قانون فشرده‌سازی برای ارسال دنباله‌های جدید است که در داخل فرهنگ لغات تعریف نشده‌اند. به این منظور شماره اندیس به آخرین دنباله شناخته شده در فرهنگ لغات بعلاوه

```
Initialize dictionary=Null
Initialize phrase W:=Null
Loop
Wait for next symbol V
If (W.V in dictionary)
{
        W=W.V
}
If    (W.V in not dictionary)
{
         Encode <index(W) , V>
        Add W.V to dictionary
         W=Null
}
If      ( [ length (V.W) > Distance based threshold]  &  [
(W.V) in dictionary]  )
{
     Encode < index(W.V) , dummy-identity >
}
Forever.
```

(الف)

```
Initialize dictionary: = Null
Loop
 Wait for next code word < i , s >
 If (S= = dummy–identity)
  {
     Decode phrase = dictionary [i];
  }
  If (S != dummy – identity)
  {
      decode phrase = dictionary [i] .s
      add phrase to dictionary
  }
  For ever
```

(ب)

شکل ۳: شبه کد الگوریتم اینکدر و دیکدر فشرده‌سازی LZ۷۸ بهبود یافته، (الف) الگوریتم اینکدر، (ب) الگوریتم دیکدر.

یکی از شناسه‌های سلول بصورت یک زوج دوتائی ارسال می‌شوند. قانون دوم قانون اعمال به روز رسانی فاصله پایه است. برای اعمال این قانون اگر موقعیت کنونی نسبت به آخرین به روز رسانی از آستانه تعیین شده بیشتر گردد به روز رسانی انجام می‌شود حتی اگر این دنباله مسیر حرکتی قبلاً در فرهنگ لغات ذخیره شده باشد. برای جلوگیری از ثبت مجدد دنباله در فرهنگ لغات اندیس مربوط به این دنباله، بعلاوه شناسه‌ای غیرفعال بصورت یک زوج کد می‌شوند. در گیرنده با مشاهده شناسه سلول غیرفعال تنها دنباله مسیر حرکت از فرهنگ لغات دیکدر خوانده شده و به دلیل آن که شناسه سلول، شناسه‌ای غیرفعال است، این شناسه به عنوان یک الگوی جدید در فرهنگ لغات دیکدر قرار نمی‌گیرد.

Archive of SID
www.SID.ir

نکته دوم که در بهبود الگوریتم مورد توجه قرار گرفته در این حقیقت نهفته است که اگر به ساختار شبکه سلولی دقت کنیم مشاهده می‌شود که تعداد سلولهای همسایه برای هر سلول محدود می‌باشد. در ساختار سلول مربعی تعداد این سلولهای همسایه ۴ و در ساختار سلول شش ضلعی تعداد همسایه‌ها ۶ می‌باشد. بنابراین با ارسال موقعیت اولین سلول می‌توان سلول‌های بعدی را با ارسال شماره مربوط به جهت حرکت معین نمود. در ساختار مربعی برای جهت حرکت کاربر، ۴ نشانه به ازاء چهار همسایگی‌های شمال، جنوب، شرق و غرب با شماره‌های ۱ تا ۴ تعیین می‌شود. در ساختار شش ضلعی برای جهت حرکت کاربر، ۶ نشانه به ازاء شش همسایگی‌های شمال، شمال‌شرقی، شمال‌غربی، جنوب، جنوب‌شرقی، جنوب‌غربی با شماره‌های ۱ تا ۶ تعیین می‌شود. این شماره‌ها به عنوان ورودی به انکدر LZ۷۸ به جای شناسه‌های واقعی سلول اعمال می‌شود. کاهش تعداد نشانه‌های ورودی انکدر به ۴ و ۶ در دو ساختار سلول مربعی و شش ضلعی باعث می‌شود که الگوهای تکراری افزایش یافته، تعداد دفعات به روز رسانی کاهش یافته و طول حافظه فرهنگ لغات کاهش یابد. شبه‌کد الگوریتم دیکدر LZ۷۸ بهبود یافته مطابق شکل ۳ می‌باشد.

۵- مقایسه الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم LZ۷۸ بهبودیافته توسط شبیه‌سازی

همانطورکه پیش‌بینی می‌شود الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته باید دارای کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم LZ۷۸ باشد. جهت مقایسه این دو الگوریتم از شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شده است. پارامترهایی که توسط شبیه‌سازی مقایسه می‌شوند عبارتند از: کاهش نرخ به روز رسانی موقعیت، فاصله ابهام و طول فرهنگ لغات. برنامه شبیه‌سازی برای دوساختار سلول مربعی وساختار سلول شش ضلعی بطور جداگانه انجام شده و پارامترهای مربوطه مقایسه می‌شوند.

۵-۱ مقایسه الگوریتمLZ۷۸ و LZ۷۸ بهبودیافته در ساختار سلول مربعی

در این شبیه‌سازی از ساختار سلول مربعی مطابق شکل ۱ استفاده می‌شود. برای ساختار سلول مربعی پارامتر Sq_size برابر ۳۲ در نظر گرفته شده است. بنابراین تعداد سلولهای شبکه برابر ۱۵۲۴ می‌باشد. در این شبیه‌سازی یک کاربر متحرک تعداد ۱۰۰۰۰ حرکت را با الگوی حرکتی جهت دار و الگوی حرکتی همه جهته انجام می‌دهد. اولین پارامتر مقایسه شده توسط شبیه‌سازی، نرخ به روز رسانی موقعیت برای حرکت جهت دار با استفاده از الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته می‌باشد که در شکل‌های ۴ و ۵ رسم شده‌اند. در این شکل‌ها کاهش نرخ به روز رسانی موقعیت برحسب مقادیر مختلف N در الگوی حرکت جهت دار رسم شده است.

در شکل ۴ مقدار $M=۰/۹$ و در شکل ۵ مقدار $M=۰/۵$ درنظر گرفته شده است. برای هر دو مقدار $M=۰/۹$ و $M=۰/۵$ منحنی مربوط به LZ۷۸ بهبود یافته در پایین‌تر از منحنی LZ۷۸ قرار می‌گیرد که نشانه کاهش نرخ به روز رسانی موقعیت در الگوریتم بهبود یافته است. برای $N=۲$ کاهش نرخ به روز رسانی در فشرده‌سازی LZ۷۸ در حدود ۰/۳ حالت بدون فشرده‌سازی بوده درحالی که این کاهش نرخ در LZ۷۸ بهبود یافته تقریباً نصف گردیده و به ۰/۱۶ حالت بدون فشرده‌سازی می‌رسد. برای هر دو الگوریتم مقدار $N=۱$ کمترین نرخ به روز رسانی موقعیت را در مقایسه با مقادیر دیگر Nها دارد. .برای $N=۱$ حرکت جهت دار کاربر تبدیل به حرکت random walk عمود بر جهت حرکت می‌گردد. هنگامی که N زیاد می‌شود کاربر جهت‌دار در یک مسیر مستقیم، حرکت رفت و برگشت را انجام می‌دهد. حال اگر $M=۰/۹$ باشد احتمال توقف در یک سلول کاهش یافته و الگوی حرکتی حالت تعیین شده‌ای به خود می‌گیرد بنابراین تعداد به روز رسانی نسبت به حالت $M=۰/۵$ (حالتی که احتمال توقف بیشتر بوده و در نتیجه الگوی حرکت تصادفی‌تر است) برای الگوریتم LZ۷۸ کاهش می‌یابد. در فشرده‌سازی LZ۷۸ بهبود یافته نرخ به روز رسانی موقعیت برای $M=۰/۵$ نسبت به $M=۰/۹$ کاهش می‌یابد زیرا تعداد به روز رسانی‌ها توسط به روز رسانی فاصله پایه که در الگوریتم ادغام شده افزایش می‌یابد (زیرا برای $M=۰/۹$ احتمال قرارگیری در ناحیه آستانه به روز رسانی بیشتر می‌گردد).

مقایسه نرخ به روز رسانی موقعیت در حرکت همه جهته برای الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته به ازای مقادیر مختلف M در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

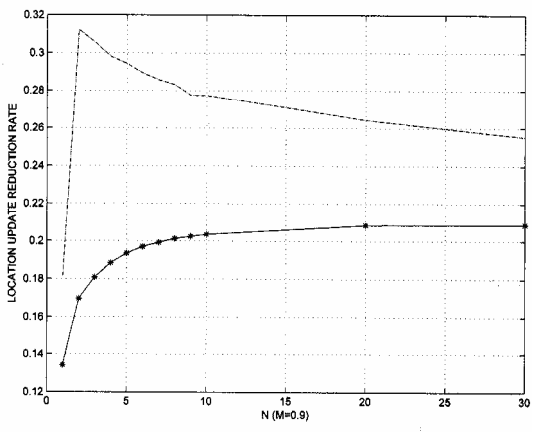
همان طوری که در شکل نشان داده می‌شود $M=۰/۸$ حداکثر نرخ به روز رسانی برای هر دو الگوریتم بوده و برای الگوریتم LZ۷۸ برابر ۰/۳۱۷ حالت بدون فشرده‌سازی بوده و برای الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته تقریباً نصف گردیده و برابر ۰/۱۶۷ حالت بدون فشرده‌سازی می‌شود. نرخ به روز آوری با کاهش M کاهش یافته و برای $M=۰/۱$ کمترین مقدار بر روی منحنی بدست می‌آید که برای الگوریتم LZ۷۸ برابر ۰/۱۷ و برای الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته کاهش یافته برابر ۰/۰۵ حالت بدون فشرده‌سازی است. بدیهی است که به ازای مقادیر کمتر از ۰/۱ این نرخ به روز رسانی کاهش می‌یابد.

حال به بررسی فاصله ابهام در تعیین موقعیت کاربر متحرک توسط HLR می‌پردازیم که به دلیل تأخیر در به روز رسانی الگوریتم فشرده‌سازی بوجود می‌آید. در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته از به روز رسانی فاصله پایه استفاده شده است. به کارگیری این به روز رسانی باعث می‌شود که یک آستانه به روز رسانی تعریف شود، هنگامی که فاصله کاربر متحرک به مقدار آستانه برسد عمل به روز رسانی انجام می‌شود، بنابراین در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته فاصله ابهام حداکثر برابر آستانه به روز رسانی می‌گردد. در شبیه‌سازی الگوریتم بهبود یافته این آستانه به روز رسانی برابر ۴ در نظر گرفته شده است. فاصله ابهام در الگوریتم LZ۷۸، حداکثر طول دنباله مسیر طی شده توسط کاربر متحرک در نظر گرفته می‌شود که فرهنگ لغات ذخیره شده است. با افزایش تعداد حرکتهای کاربر فاصله ابهام در فرهنگ لغات افزایش می‌یابد. در زمان فراخوانی کاربر اگر بخواهیم تنها با یک مرحله فراخوانی موقعیت کاربر متحرک را شناسایی کنیم باید تمام سلولهای قرار گرفته در مربعی را که طول ضلع آن برابر فاصله ابهام است فراخوانی کنیم. در شکل ۷، فاصله ابهام در حرکت جهت‌دار با مقادیر $M=۰/۵$ و $M=۰/۹$ بر حسب تغییرات N برای الگوریتم LZ۷۸ و الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه شده است.

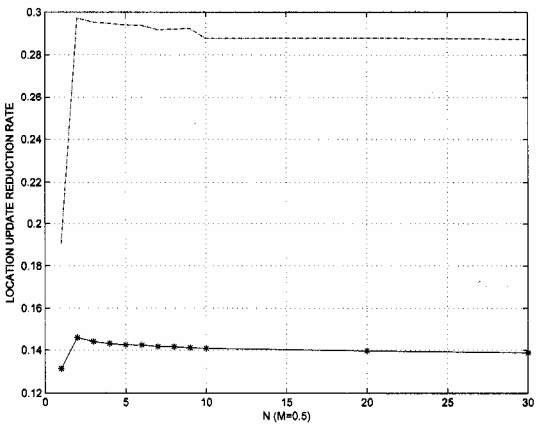
همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود حداقل فاصله ابهام به ازای $M=۰/۵$ و $M=۰/۹$ برای الگوریتم LZ۷۸، مقدار ۷ بوده در حالی که مقدار آن برای LZ۷۸ بهبودیافته برابر ۴ یعنی تقریباً نصف می‌شود. در این منحنی‌ها فاصله ابهام با تغییر پارامتر N و M برای الگوریتم LZ۷۸ تغییر می‌نماید برای LZ۷۸ بهبودیافته مقدار فاصله ابهام وابسته به تغییرات پارامتر N و M نبوده وبرابر مقدار آستانه از پیش تعیین شده ۴ در به روز رسانی فاصله پایه‌ای است که در الگوریتم فشرده‌سازی ادغام شده است.

Archive of SID

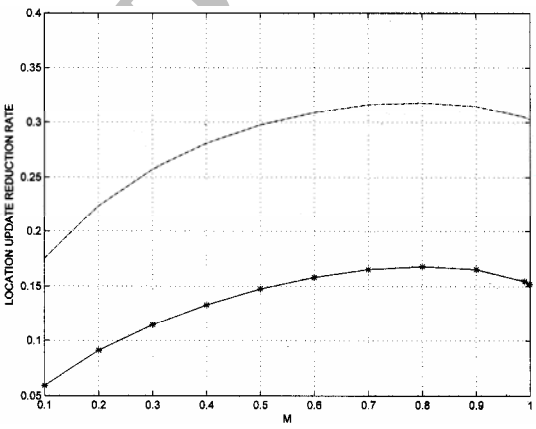
www.SID.ir



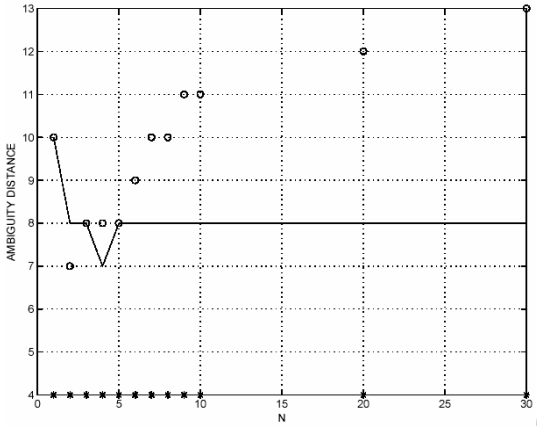
شکل ۴: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر جهت‌دار ($M=۰/۹$) برای LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده سازی (سلول مربعی).



شکل ۵: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر جهت‌دار ($M=۰/۵$) برای LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده‌سازی (سلول مربعی).



شکل ۶: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر همه جهته برای LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده‌سازی (سلول مربعی).



شکل ۷: فاصله ابهام کاربر جهت‌دار برای الگوریتم LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) (سلول مربعی).

در شکل ۸ فاصله ابهام برای حرکت کاربر جهت دار برحسب تغییرات M برای دو الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبودیافته رسم شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود به ازای مقادیر $M=۰/۷$ حداقل فاصله ابهام برای الگوریتم LZ۷۸ برابر ۶ است و حداکثر آن به ازای $M=۰/۱$ برابر ۲۲ می‌باشد. درحالی که برای LZ۷۸ بهبودیافته فاصله ابهام مقدار ثابت ۴ است. این مقدار همان آستانه از پیش تعیین شده دراستفاده از به روزرسانی فاصله پایه است که با الگوریتم فشرده‌سازی ادغام شده است.

سومین پارامتر خروجی برنامه شبیه‌سازی برای مقایسه دو الگوریتم طول فرهنگ لغات انکدر و دیکدر فشرده‌ساز می‌باشد. درشکل ۹ طول فرهنگ لغات الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبودیافته برای کاربر جهتدار به ازای مقدار $M=۰/۹$ رسم شده است. درشکل ۱۰ نیز همین منحنی به ازای $M=۰/۵$ رسم گردیده است.

برای محاسبه طول فرهنگ لغات در برنامه شبیه‌سازی تعداد حرکت کاربر متحرک، ۱۰۰۰۰۰ درنظر گرفته شده است. همانطوری که درشکل مشاهده می‌شود طول فرهنگ لغات برای الگوریتم LZ۷۸ بهبودیافته به ازای مقادیر مختلف N کمتر از الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد. از آنجائی که در پایگاه داده HLR به ازای هرکاربر متحرک باید یک فرهنگ لغات استفاده گردد کاهش حجم حافظه می‌تواند از نظر پیاده‌سازی این فرهنگ لغات نقش مهمی داشته باشد.

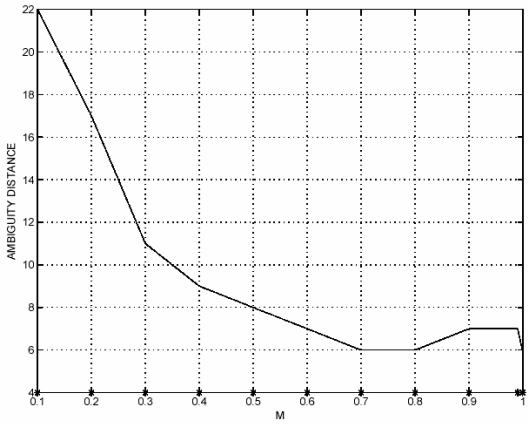
در شکل ۱۱ حجم حافظه فرهنگ لغات الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبودیافته برای کاربر همه جهته مقایسه می‌شود. دراین حالت نیز تعداد دفعات حرکت کاربر متحرک ۱۰۰۰۰۰ حرکت درنظر گرفته شده است. برای کاربر همه جهته نیز اندازه فرهنگ لغات برای الگوریتم LZ۷۸ بهبودیافته به ازای مقادیر مختلف M کمتر از الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد.

۵-۲ مقایسه الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته در ساختار شش ضلعی

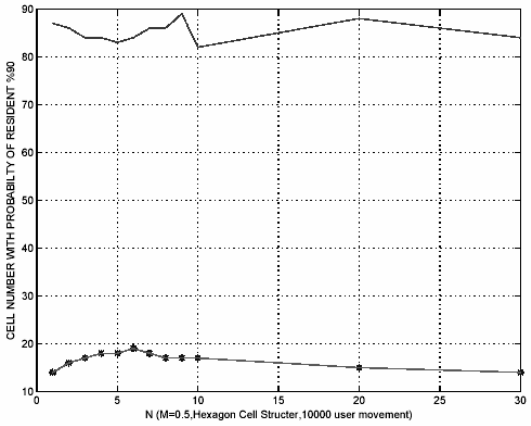
در این شبیه‌سازی از ساختار سلول شش ضلعی مطابق شکل ۲ استفاده می‌شود. تعداد سلولهای این شبکه ۲۱۷ سلول می‌باشد. در این ساختار قطر شش ضلعی محدود کننده شبکه ۱۶ سلول می‌باشد. در این شبیه‌سازی یک کاربر متحرک تعداد ۱۰۰۰۰ حرکت را با الگوی حرکتی جهت‌دار و الگوی حرکتی همه جهته انجام می‌دهد. در شکلهای ۱۲ و ۱۳ نرخ به روز رسانی موقعیت با حرکت جهت دار برای الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه شده‌اند. درشکل ۱۲ مقدار M برابر ۰/۹ و درشکل ۱۳ مقدار M برابر ۰/۵ است. نتایجی را که در مورد منحنی‌های ۴ و ۵ بدست آمده با منحنی‌های ۱۲ و۱۳ مطابقت دارند. در این منحنی‌ها نیز نرخ به روز رسانی موقعیت در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته کمتر از الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد.

مقایسه نرخ به روز رسانی موقعیت در حرکت همه جهت کاربر برای الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته به ازای مقادیر مختلف M در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود.

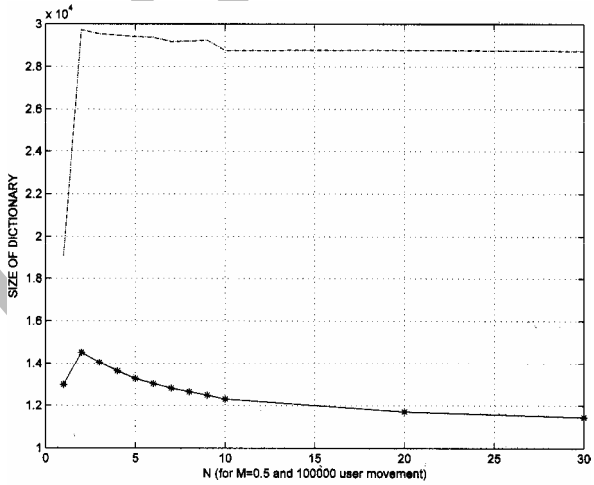
Archive of SID
www.SID.ir



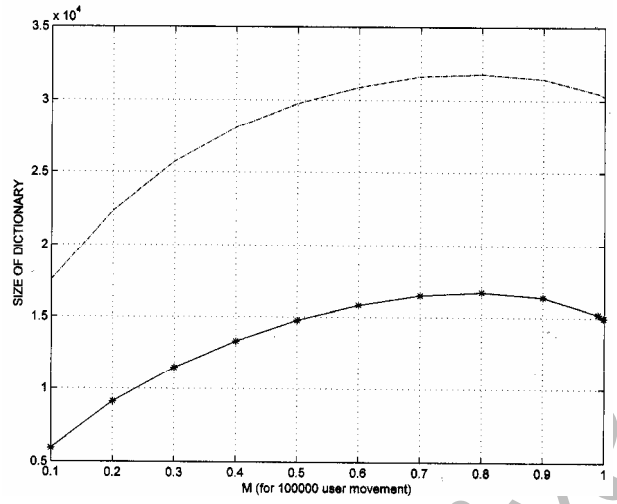
شکل ۸: فاصله ابهام کاربر متحرک همه جهته برای الگوریتم LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای سلول مربعی.



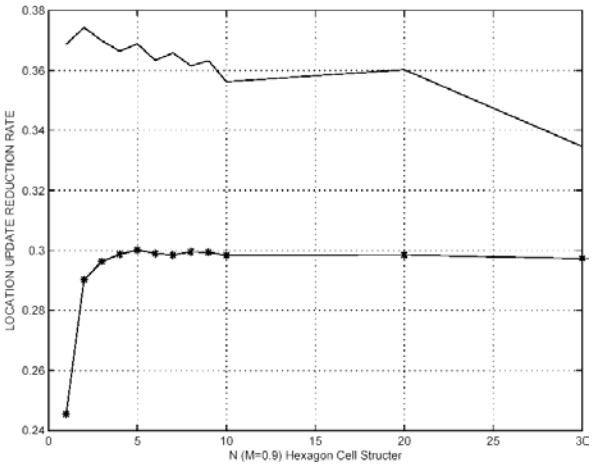
شکل ۹: اندازه فرهنگ لغات کاربر متحرک جهت دار ($M=۰/۹$) برای الگوریتم LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای تعداد ۱۰۰۰۰۰ حرکت کاربر متحرک سلول مربعی.



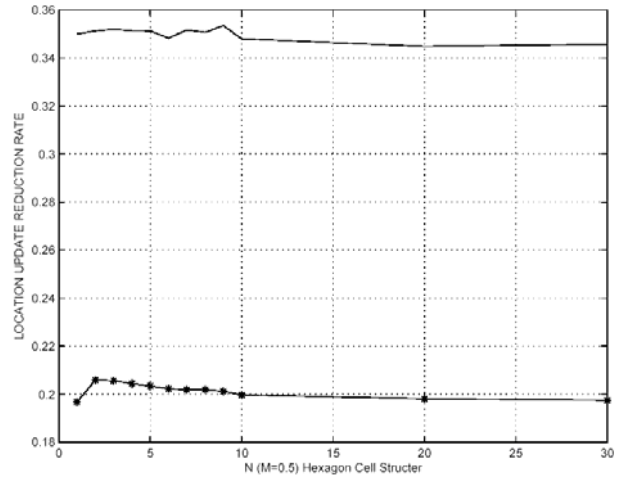
شکل ۱۰: طول فرهنگ لغات کاربر متحرک جهت دار ($M=۰/۵$) برای الگوریتم LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای تعداد ۱۰۰۰۰۰ حرکت کاربر متحرک سلول مربعی.



شکل ۱۱: طول فرهنگ لغات کاربر متحرک همه جهته برای الگوریتم LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای تعداد ۱۰۰۰۰۰ حرکت کاربر متحرک سلول مربعی.



شکل ۱۲: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر جهت دار ($M=۰/۹$) برای LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده‌سازی (سلول شش ضلعی).

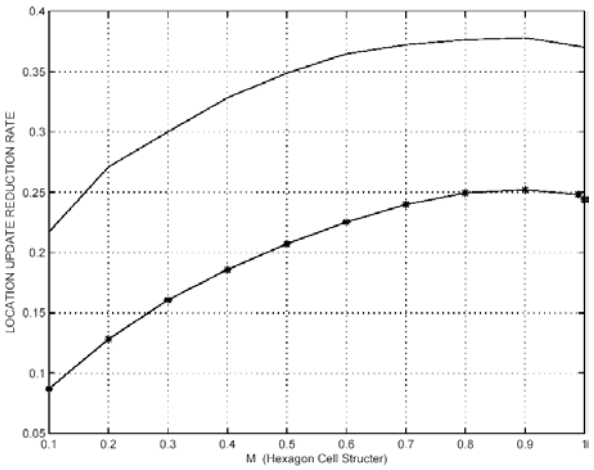


شکل ۱۳: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر جهت دار ($M=۰/۵$) برای LZ۷۸ (خط چین) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده‌سازی (سلول شش ضلعی).

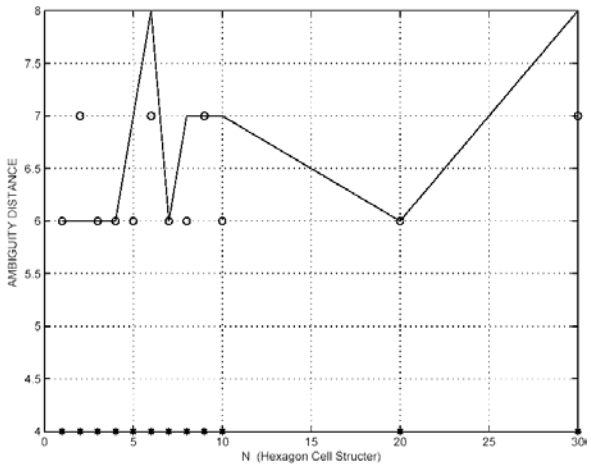
همانطوری که در شکل ۱۴ مشخص است $M=۰/۹$ حداکثر نرخ به روز رسانی موقعیت برای هر دو الگوریتم بوده و برای الگوریتم LZ۷۸ برابر ۰/۳۷۸ حالت بدون فشرده‌سازی و برای الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته ۰/۲۵۲ حالت بدون فشرده‌سازی می‌گردد. در این حالت نیز به ازاء تمام مقادیر M نرخ به روز رسانی موقعیت الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته کمتر از LZ۷۸ می‌باشد.

اینک به پارامتر فاصله ابهام در ساختار سلول شش ضلعی می‌پردازیم. در زمان فراخوانی کاربر اگر بخواهیم تنها با یک مرحله فراخوانی موقعیت

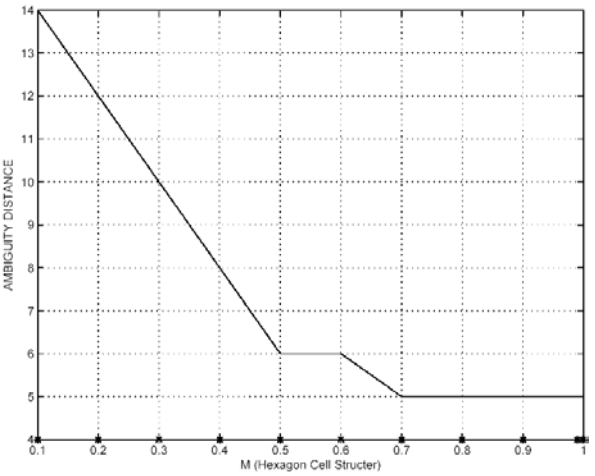
www.SID.ir



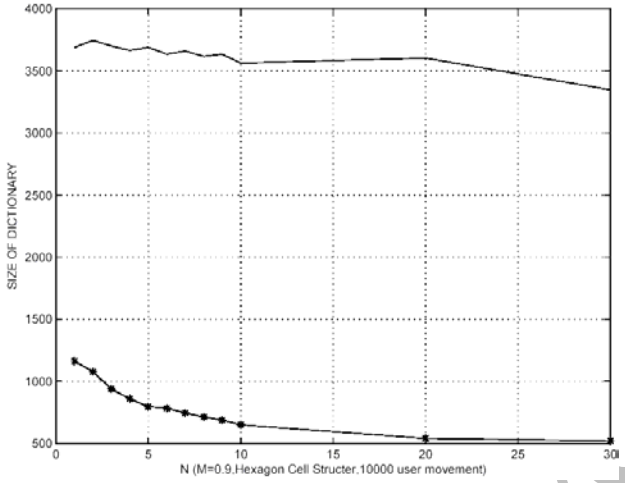
شکل ۱۴: نرخ به روز رسانی موقعیت کاربر همه جهت برای LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) نسبت به حالت بدون فشرده سازی (سلول شش ضلعی).



شکل ۱۵: فاصله ابهام کاربر جهت دار برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) برای سلول شش ضلعی.



شکل ۱۶: فاصله ابهام کاربر متحرک همه جهته برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) برای سلول شش ضلعی.



شکل ۱۷: طول فرهنگ لغات کاربر متحرک جهت دار ($M=۰/۹$) برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) برای تعداد ۱۰۰۰۰حرکت و سلول شش ضلعی.

کاربر متحرک را شناسایی نماییم باید سلولهای داخل یک شش ضلعی محاطی با شعاع سلولی فاصله ابهام را فراخوانی نماییم. در الگوریتم بهبود یافته مقدار آستانه به روز آوری برابر ۴ در نظر گرفته شده است بنابراین شش ضلعی محاطی فراخوانی برای این الگوریتم همواره یک شش ضلعی با شعاع ۴ سلول می‌باشد. در این شش ضلعی محاطی تعداد ۳۷ سلول به طور همزمان فراخوانی می‌شوند. در شکل ۱۵ فاصله ابهام برای الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته در حرکت جهت دار رسم شده است.

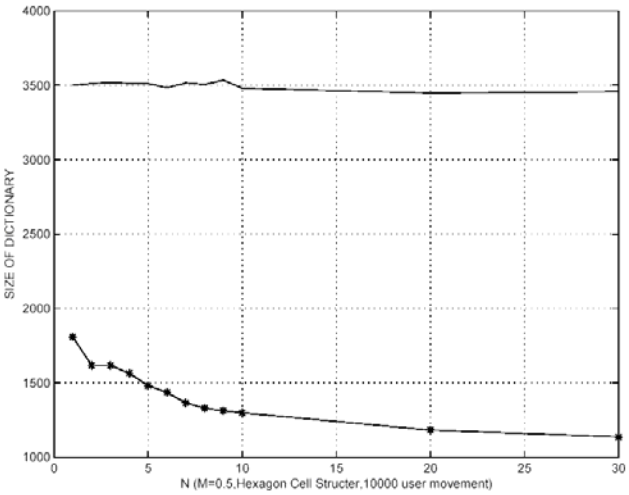
حداقل فاصله ابهام برای الگوریتم LZ۷۸ برابر ۶ سلول بوده و بر حسب مقادیر مختلف N تغییر می‌کند. در حالی که برای الگوریتمLZ۷۸ بهبود یافته این فاصله ابهام برابر استانه به روزرسانی فاصله پایه ادغام در الگوریتم، یعنی ۴ می‌باشد. در شکل ۱۶ فاصله ابهام برای حرکت کاربر جهت دار بر حسب تغییرات M برای دو الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته رسم شده است.

برای الگوریتم LZ۷۸ حداکثر فاصله ابهام برابر ۱۴ و حداقل آن ۵ می‌باشد که بر حسب مقادیر مختلف M تغییر می‌نماید در اینجا نیز مشاهده می‌شود که عملکرد الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته با توجه به مقدار ابهام ثابت ۴ بهتر از LZ۷۸ می‌باشد.

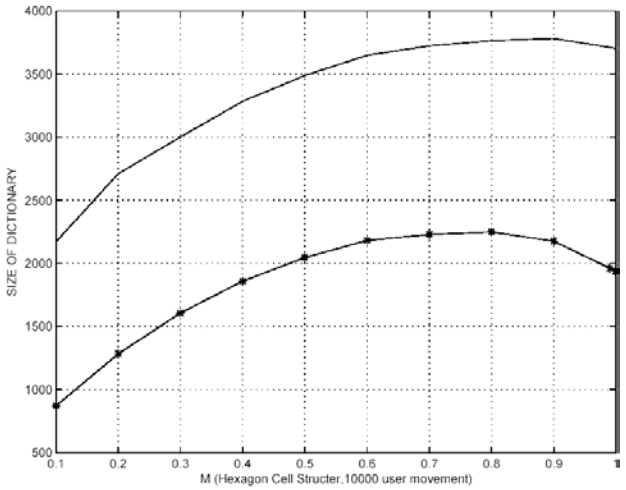
یکی دیگر از پارامترهای خروجی برنامه شبیه‌سازی برای مقایسه در الگوریتم طول فرهنگ لغات انکدر و دیکدر فشرده‌سازی می‌باشد. در شکل ۱۷ طول فرهنگ لغات الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته برای کاربر جهت دار و $M=۰/۹$ برحسب مقادیر مختلف N رسم شده است. در شکل ۱۸ طول فرهنگ لغات الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته برای کاربر جهت دار و $M=۰/۵$ برحسب مقادیر مختلف N رسم شده است.

برای محاسبه طول فرهنگ لغات در برنامه شبیه‌سازی تعداد حرکت کاربر ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است. حداکثر طول فرهنگ لغات برای $M=۰/۵$ و $N=۱$ بوده و برابر ۱۸۰۰ می‌باشد. برای هر دو مقدار $M=۰/۵$ و $M=۰/۹$ منحنی طول فرهنگ لغات برای الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته پایین‌تر از منحنی مربوط به الگوریتم LZ۷۸ قرار می‌گیرد که نشانگر بهبود عملکرد الگوریتم است. اگر طول فرهنگ لغات را برای این شبیه‌سازی و شبیه‌سازی سلول مربعی مقایسه کنیم مشاهده می‌شود که در شبیه‌سازی مربعی به دلیل اعمال ۱۰۰۰۰۰ حرکت برای کاربر متحرک طول فرهنگ لغات تقریباً ده برابر می‌گردد. بنابراین با کاهش تعداد سمبلهای اعمال شده به الگوریتم فشرده‌سازی می‌توان طول دیکشنری را کاهش داد. اگر بخواهیم طول حافظه را محدود نماییم باید الگوهای جدید را در زمان تغییر الگوی حرکتی با الگوهای قدیمی ذخیره شده در فرهنگ لغات جایگزین نمود. چگونگی این جایگزینی خود یک موضوع باز تحقیقاتی محسوب می‌شود. در شکل ۱۹ طول فرهنگ لغات

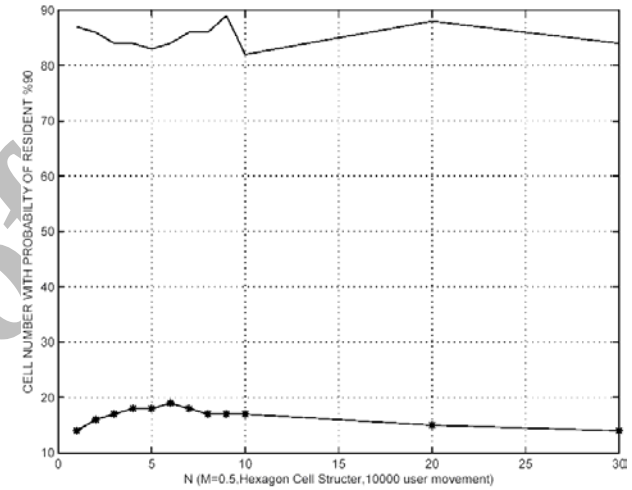
Archive of SID
www.SID.ir



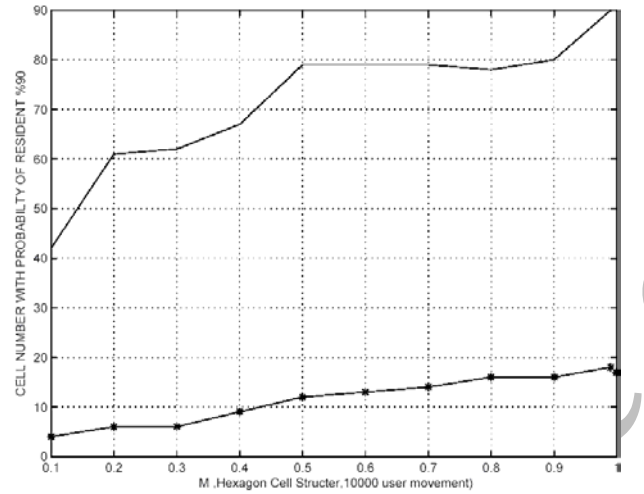
شکل ۱۸: طول فرهنگ لغات کاربر متحرک جهت دار($M=۰/۵$) برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) برای تعداد ۱۰۰۰۰ حرکت و سلول شش ضلعی.



شکل ۱۹: طول فرهنگ لغات الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبود یافته (خط نقطه) برای الگوی حرکتی همه جهته (تعداد ۱۰۰۰۰ حرکت و سلول شش ضلعی).



شکل ۲۰: تعداد سلولها با احتمال استقرار ۹۰٪ برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای کاربر جهت دار و $M=۰/۵$.



شکل ۲۱: تعداد سلولها با احتمال استقرار ۹۰٪ برای الگوریتم LZ۷۸ (خط) و LZ۷۸ بهبودیافته (خط نقطه) برای کاربر جهته.

۷۸ الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته برای الگوی حرکتی همه جهته مقایسه می‌شود. همان طور که مشاهده می‌شود در این حالت نیز عملکرد LZ بهبود یافته بهتر بوده و منحنی طول فرهنگ لغات پایین تر از LZ۷۸ قرار می‌گیرد.

۶- مقایسه هزینه مکان یابی در الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته و به روز رسانی فاصله پایه

در این قسمت به مقایسه هزینه مکان یابی برای سه الگوریتم LZ۷۸، LZ۷۸ بهبود یافته و به روز رسانی فاصله پایه می‌پردازیم. به این منظور یادگیری در مورد الگوی حرکتی کاربر متحرک را مورد توجه قرار می‌دهیم تا الگوریتم‌های LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته بتوانند در فراخوانی کاربر متحرک از آن استفاده کنند. همان طور که می‌دانیم دنباله‌های ذخیره شده در فرهنگ لغات اطلاعاتی در مورد رفتار حرکتی کاربر متحرک را ارائه می‌دهد که با دانستن این اطلاعات می‌توان در مورد موقعیت قرارگیری کاربر پیشگویی نمود و با احتمال بالا در سلولهای معینی کاربر متحرک را فراخوانی کرد. برای یادگیری در مورد موقعیت کاربر در برنامه شبیه‌سازی تعداد دفعات قرارگیری کاربر متحرک در هر سلول را با توجه به وجود ثبت مسیر حرکت در فرهنگ لغات محاسبه می‌کنیم. با انجام این محاسبه احتمال قرارگیری کاربر در هر سلول مشخص می‌شود.

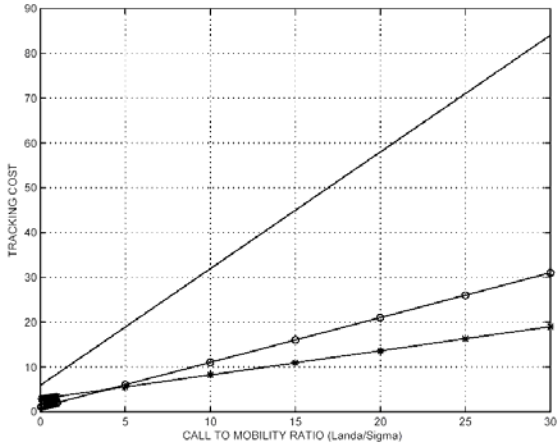
تعداد سلولهایی که در۹۰ درصد مواقع کاربر متحرک در این سلولها قرار می‌گیرد برای الگوریتم‌های LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته در شکل ۲۰ رسم شده است در شکل، حرکت کاربر جهت‌دار بوده و $M=۰/۵$ است.

محدوده به روز رسانی فاصله پایه بکار رفته در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته برابر ۴ بوده در این محدوده تعداد ۳۷ سلول قرار دارند ولی با توجه به الگوی حرکتی، کاربرمتحرک در ۹۰ درصد موارد در کمتر از ۱۹ سلول قرار می‌گیرد. بنابراین اگر بخواهیم کاربر را فراخوانی کنیم می‌توانیم فراخوانی را در دو مرحله انجام دهیم. در مرحله اول تنها ۱۹ سلولی را که احتمال قرارگیری کاربر در آن ۹۰٪ است فراخوانی نموده و در مرحله دوم ۱۸ سلول دیگر را که تنها احتمال قرارگیری کاربر در آنها ۱۰٪ است فراخوانی می‌کنیم.

درمورد الگوریتم LZ۷۸ با توجه به اینکه کل منطقه حرکت کاربر متحرک شامل ۲۱۷ سلول است موقعیتهای ثبت شده در فرهنگ لغات نشان می‌دهد که در ۹۰٪ موارد کاربر متحرک تنها در ۹۰ سلول قرار می‌گیرد. در مرحله اول تنها ۹۰ سلولی را که احتمال قرارگیری کاربر در آن ۹۰٪ است فراخوانی نموده و در مرحله دوم ۱۲۷ سلول دیگر را که تنها احتمال قرارگیری کاربر در آنها ۱۰٪ است فراخوانی می‌کنیم.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲۲: تابع هزینه مکان یابی برای سه الگوریتم بروز رسانی فاصله پایه LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته.

تعداد سلولهایی که در۹۰ درصد مواقع کاربر متحرک در این سلولها قرار می‌گیرد برای الگوریتم‌های LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته در شکل ۲۱ رسم شده است. در این شکل حرکت کاربر همه جهته است.

اگر بخواهیم از روش به روز رسانی فاصله پایه برای فراخوانی کاربر متحرک استفاده کنیم باید تمام سلولها در محدوده آستانه به روز رسانی را که ۴ در نظر گرفته شده فراخوانی نماییم زیرا در به روز رسانی فاصله پایه آماری از موقعیت استقرار کاربر در داخل این محدوده بدست نمی‌آید. تعداد سلولهای قرار گرفته در این محدوده ۳۷ سلول می‌باشد. به روز رسانی فاصله پایه دارای این مزیت است که تعداد به روز رسانی آن همواره کمتر از به روز رسانی الگوریتم LZ بهبود یافته است زیرا در الگوریتم LZ بهبود یافته تعداد به روز رسانی‌ها مجموع دو روال متفاوت است: یکی روال مربوط به ارسال دنباله‌ها جدید در بکارگیری الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و دیگری ارسال دنباله‌های مربوط به به روز رسانی فاصله پایه ترکیبی در این الگوریتم. برای مقایسه جامع سه الگوریتم LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته و به روز رسانی فاصله پایه تابع هزینه مکان‌یابی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم [۱۷]:

$$Cost_Total = Cost_Update + Cost_Call \times (\lambda/\delta) \qquad (۱)$$

(λ/δ) تعداد متوسط مکالمات به متوسط تعداد حرکت کاربر متحرک است. λ متوسط نرخ مکالمات و δ متوسط نرخ حرکت کاربر متحرک می‌باشد که دارای توزیع پواسون می‌باشند.در رابطه ۱ پارامتر $Cost_Update$ هزینه به روز رسانی بوده و $Cost_Call$ هزینه فراخوانی می‌باشد. برای مقایسه ۳ الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه LZ۷۸ و LZ۷۸ بهبود یافته برنامه شبیه‌سازی را برای کاربر جهت دار و $M = ۰/۵$ و $N = ۵$ اجرا نموده و مقادیر زیر را برای محاسبه هزینه مکان‌یابی استخراج می‌کنیم.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود $Cost_Call$ برای به روز رسانی فاصله پایه نرمالیزه شده و برابر یک در نظر گرفته می‌شود و هزینه $Cost_Call$ برابر $۳۷ \times k_۱$ تعیین شده است. $k_۱$ ضریبی است که هزینه فراخوانی کاربر متحرک در هر سلول را معین می‌کند. در اغلب مقالات $k_۱$ را کوچکتر از یک و حدود ۰/۱ در نظر می‌گیرند. در این مقاله مقدار $k_۱$ را برابر ۱/۳۷ در نظر می‌گیریم تا این که هزینه فراخوانی و هزینه به روز رسانی برابر مقدار نرماینده یک گردد. تابع هزینه مکان‌یابی در رابطه (۱) برای به روز رسانی فاصله پایه مطابق رابطه ۲ و ۳ است:

جدول ۳: پارامترهای مربوط به محاسبه هزینه مکان یابی

	الگوریتم LZ۷۸	الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته	بروزرسانی فاصله پایه
تعداد دفعات بروزرسانی	۳۵۱۲	۲۰۳۴	۱۴۹۴
تعداد سلولهای استقرار کاربر متحرک در ۹۰٪ موارد	۸۳	۱۸	-----
تعداد سلولها استقرار کاربر متحرک در ۱۰۰٪ موارد	۲۱۷	۳۷	۳۷
طول فرهنگ لغات	۳۵۱۲	۱۴۸۱	-----
Cost-Update	۳۵۱۲/۱۴۹۴	۲۰۳۴/۱۴۹۴	۱
Cast-Call	$۸۳ \times k۱ \times ۰/۹ +$ $۲۱۷ \times k۱ \times ۰/۱$	$k_۱ \times ۰/۹ +$ $۳۷ \times k_۱ \times ۰/۱$	$۳۷ \times k_۱$
Cost_Memory	$۳۵۱۲ \times k_۲$	$۲۰۳۴ \times k_۲$	۰

$$Cost_Total(distance_based) = Cost_Update(distance_based) + Cost_Call(distance_based) \times (\lambda/\delta) \qquad (۲)$$

$$Cost_Total(distance_based) = ۱ + k_۱ \times ۳۷(\lambda/\delta), \quad k_۱ = ۱/۳۷ \qquad (۳)$$

برای محاسبه هزینه مکان‌یابی در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته باید توجه کنیم که به ازاء ۱۴۹۴ مرتبه به روز رسانی در به روز رسانی فاصله پایه در این الگوریتم تعداد ۲۰۳۴ به روز رسانی واقع شده است با توجه به اینکه هزینه به روز رسانی برای الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه مقدار نرمالیزه ۱ تعریف شده است هزینه به روز رسانی الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته برابر ۲۰۳۴/۱۴۹۴ می‌شود. در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته فراخوانی در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله اول تنها سلولهایی که احتمال استقرار کاربر در آن ۹۰٪ است فراخوانی می‌شوند در صورت عدم یافتن کاربر متحرک در مرحله دوم باقی مانده سلولها در محدوده استانه به روز آوری می‌شوند. بنابراین هزینه فراخوانی برابر $۱۸ \times k_۱ \times ۰/۹ + ۳۷ \times k_۱ \times ۰/۱$ می‌گردد. در محاسبه هزینه کلی، هزینه طول فرهنگ لغات نیز ملاحظه شده است. این هزینه حاصل ضرب طول فرهنگ لغات در ضریب $k_۲$ می‌باشد برای الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته این هزینه برابر $۲۰۳۴ \times k_۲$ است مقدار $k_۲$ را برابر ۰/۰۰۱ در نظر می‌گیریم. تابع هزینه مکان‌یابی برای این الگوریتم به قرار زیر است:

$$Cost_Total(Modified - LZ۷۸) = Cost_Update(Modified_LZ۷۸) + Cost_Call(Modified_LZ۷۸) \times (\lambda/\delta) + Cost_Memory(Modified_LZ۷۸) \qquad (۴)$$

$$Cost_Total(Modified_LZ۷۸) = ۲۰۳۴ /۱۴۹ + k_۱ \times ۰/۹ \times ۱۸ \times \frac{\lambda}{\delta} + k_۱ \times ۰/۱ \times ۳۷ \times \frac{\lambda}{\delta} + ۲۰۳۴ \times k_۲ \;, \quad k_۱ = ۱/۳۷, k_۲ = ۰/۰۰۱ \qquad (۵)$$

Archive of SID
www.SID.ir

برای محاسبه هزینه مکان‌یابی در الگوریتم LZ۷۸ با مشاهده جدول متوجه می‌شویم که تعداد ۳۵۱۲ به روز رسانی در این الگوریتم در مقایسه با تعداد ۱۴۹۴به روز رسانی فاصله پایه انجام شده است. از آنجا که هزینه به روز رسانی فاصله پایه مقدار نرمالیزه ۱ تعیین شده هزینه به روز رسانی الگوریتم LZ۷۸ برابر ۳۵۱۲/۱۴۹۴ می‌شود. در اینجا نیز فراخوانی در دو مرحله انجام می‌شود در مرحله اول تنها سلولهایی که احتمال استقرار کاربر در آنها ۹۰٪ است فراخوانی می‌شوند و در صورت عدم دستیابی به کاربر متحرک بقیه سلولها که احتمال استقرار کاربر متحرک درآنها ۱۰٪ است، فراخوانی می‌شوند. بنابراین هزینه فراخوانی برابر $۸۳\times k۱\times ۰/۹ + ۲۱۷\times k۱\times ۰/۱$ می‌گردد. در اینجا نیز هزینه طول فرهنگ لغات محاسبه می‌شود که برابر $۳۵۱۲\times k۲$ خواهد شد. تابع هزینه مکان‌یابی این الگوریتم به قرار زیر است:

$$Cost_Total(\text{LZ۷۸}) = Cost_update(\text{LZ۷۸}) + Cost_Call(\text{LZ۷۸})\times(\lambda/\delta) + Cost_Memory(\text{LZ۷۸}) \quad (۶)$$

$$Cost_Total(\text{LZ۷۸}) = ۳۵۱۲/۱۴۹۴ + k_۱\times ۰/۹\times ۸۳\times\frac{\lambda}{\delta} + k_۱\times ۰/۱\times ۲۱۷\times\frac{\lambda}{\delta} + ۳۵۱۲\times k_۲ \quad , \quad k_۱ = ۱/۳۷,\ k_۲ = ۰/۰۰۱ \quad (۷)$$

در شکل ۲۲ تابع هزینه مکان‌یابی برای سه الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ و الگوریتم فشرده‌سازی LZ۷۸ بهبود یافته مقایسه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود هزینه مکان‌یابی الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته کمتر از دو روش دیگر است.

۷- نتیجه گیری

استفاده از الگوریتم LZ۷۸ برای تعقیب کاربران متحرک مخابرات سیار ابتدا در مرجع [۱۵] معرفی شده ولی به مسائل پیاده‌سازی آن توجه نشده است. یکی از مسائل پیاده‌سازی این الگوریتم تأخیر در به روز رسانی موقعیت مشترک با افزایش طول فرهنگ لغات می‌باشد، زیرا تا هنگامی که دنباله مربوطه درفرهنگ لغات وجود داشته باشد الگوریتم فشرده‌سازی به روز رسانی موقعیت را به تأخیر می‌اندازد. از طرفی افزایش طول فرهنگ لغات باعث مشکلات در پیاده‌سازی الگوریتم می‌گردد زیرا به ازای هر کاربر متحرک باید یک فرهنگ لغات درپایگاه داده HLR به کارگرفته شود. برای حل این مشکلات ما در این مقاله تغییراتی در بکارگیری الگوریتم داده‌ایم به این صورت که به جای ارسال موقعیت دقیق کاربر متحرک، ابتدا موقعیت را بصورت دقیق توسط شناسه سلول بدون فشرده‌سازی ارسال نموده وسپس حرکت به سمت سلولهای همسایه را شماره‌گذاری نموده و توسط الگوریتم فشرده‌سازی ارسال کرده‌ایم. ازطرفی با ادغام الگوریتم فشرده‌سازی با به روز رسانی فاصله پایه ابهام در به روز رسانی موقعیت را نیز محدود به یک مقدار آستانه نموده‌ایم. با اعمال این تغییرات حداکثر ابهام درموقعیت کاربرو طول حافظه فرهنگ لغات کاهش می‌یابد.

برای تایید بهبود کارکرد الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته برنامه شبیه‌سازی به زبان Visual C++ نوشته شده است. در شبیه‌سازی از دو شبکه سلولی یکی با سلولهای مربعی و دیگری با سلولهای شش ضلعی و دو الگوی حرکتی جهت‌دار و همه جهته استفاده شده است. خروجی برنامه شبیه‌سازی نشان دهنده کاهش طول حافظه فرهنگ لغات، ابهام در موقعیت و نرخ به روز رسانی در بکارگیری LZ۷۸ بهبود یافته در تمام حالات می‌باشد.

از آنجا که در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته ازترکیب الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه و الگوریتم LZ۷۸ بوجود آمده است هزینه مکان‌یابی کاربر متحرک برای این سه الگوریتم محاسبه و مقایسه گردیده است. این مقایسه نشان می‌دهد که هزینه مکان‌یابی در الگوریتم LZ۷۸ بهبود یافته کمتر از الگوریتم به روز رسانی فاصله پایه و الگوریتم LZ۷۸ می‌باشد.

مراجع

[1] A. D. Malyan, L. J. Ng, V. C. M. Leung, and R. W. Donaldson, "Network architecture and signalling for Wireless personal Communications," *IEEE J. Selected Area Commun*., vol. 11, no. 6, pp. 830-841, Aug. 1993.

[2] Y. B. Lin, "Determining the user locations for personal communication networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 466-473, Aug. 1994.

[3] A. Aabutaleb and V. O. K. Li, "Paging strategy optimization in personal communication system," *ACM/Baltzer J. Wireless Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 195-204, Aug. 1997.

[4] I. F. Akyildiz, J. McNair, J. S. M. Ho, H. Vzunalioglu, and W. Wang, "Mobility management in next generation wireless systems," *Proc. IEEE*, vol. 87, no. 8, pp. 1348-1358, Aug. 1999.

[5] I. F. Akyildiz, J. S. M. Ho, and Y. -B. Lin, "Movement-Based location update and selective paging for PCS networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 4, no. 4, pp. 629-638, Aug. 1996.

[6] A. Bar-Noy, I Kessler, and M. Sidi, "Mobile users: to update or not to update," *ACM/Baltzer J-Wireless Networks,* vol. 1, no. 2, pp. 175-186, Jul. 1995.

[7] J. S. M. Ho, and I. F Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," *ACM/Baltzer J. Wireless Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 413-425, Dec. 1995.

[8] U. Madhow, M. Honig, and K. Steiglitz, "Optimization of wireless resource for personal communications mobility tracking," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 3, no. 6, pp. 698-707, Dec. 1995.

[9] C. Rose, "Minimizing the average cost of paging and registration: A timer-based method," *ACM/Baltzer J. Wireless Networks*, vol. 2, no 2, pp. 109-116, Jun. 1996.

[10] V. W. Wang and V. C. M. Leung, "An adaptive distance-based location update algorithm for next-generation PCS networks," *IEEE J. Selected Areas in Comm.* , vol. 19, no.10, pp. 1942-1952, Oct. 2001.

[11] S. K. Sen, A. Bhattacharya, and S. K. Das, "A selective location update strategy for PCS users, " *ACM/Baltzer J. Wireless Networks*, vol. 5, no. 5, pp. 313-326, Sep. 1999.

[12] C. Rose, "State-based paging/registration: a greedy technique," *IEEE Trans. Vehicular Technology,* vol. 48, no. 1, pp. 1666-173, Jan. 1999.

[13] Z. Noar, "Tracing mobile users with uncertain parameters," in *Proc. ACM/IEEE Mobicomm'00,* pp.110-119, 2000.

[14] T. X. Grown, and S. Mohan, "Mobility management for personal communications systems," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 46, no. 2, pp. 269-278, May 1997.

[15] A. Bhaltlacharya, and S. K. Das, "LeZi_update: an information_theoric framework for personal mobility tracking in PCS networks," *ACM Wireless Network*, vol. 8, no. 2-3, pp. 121-135, Mar./May 2002.

[16] T. A. Welch, "A technique for high performance data compression," *IEEE Computer Magazine*, vol. 17, no. 6, pp. 8-19, Jun. 1984.

[17] I. -R. Chen, and B. Gu, "Qualitive analysis of a hybrid replication with forwarding strategy for efficient and uniform location management in mobile wireless networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 3-15, Jan./Mar. 2003.

سید محمدرضا میرصراف در سال ۱۳۶۷ مدرک کارشناسی مهندسی مخابرات و در سال ۱۳۷۰ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات خود را از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی دریافت نمود. از سال ۱۳۷۱ تا کنون نامبرده به عنوان پژوهشگر مرکز تحقیقات مخابرات ایران به کار مشغول بوده است و از سال ۱۳۷۶ در رشته دکتری مخابرات در دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران مشغول به تحصیل می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های هوشمند، شبکه‌های کامپیوتری، سیستمهای انتقال دیجیتال و سیستمهای مخابرات سیار می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

علی موقر رحیم‌آبادی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مهندسی برق در سال ۱۳۵۶ از دانشگاه تهران و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق و علوم کامپیوتر به ترتیب در سالهای ۱۳۵۹ و ۱۳۶۴ از دانشگاه میشیگان آمریکا به پایان رسانده است و هم اکنون دانشیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف می‌باشد. نامبرده قبل از پیوستن به دانشگاه صنعتی شریف در سالهای ۱۳۶۴ الی ۱۳۶۵ در آزمایشگاه بل و در سالهای ۱۳۶۶ الی ۱۳۶۸ در دانشگاه میشیگان در آمریکا مشغول به تحقیق و تدریس بوده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مدلسازی کارایی و اتکا پذیری، درستی‌یابی و اعتبار سنجی، شبکه‌های کامپیوتری و سیستم‌های توزیع شده بلادرنگ.

محمدحکاک تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در سال ۱۳۴۲ از دانشگاه بغداد و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق (مخابرات) به ترتیب در سالهای ۱۳۴۷ و ۱۳۵۰ از دانشگاه ایلینوی آمریکا به پایان رسانده است. نامبرده از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۹ دانشیار دانشگاه بغداد، از ۱۳۵۹ تا ۱۳۷۲ پژوهشگر ارشد مرکز تحقیقات مخابرات ایران و سپس به عضویت هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس پیوستند که هم اکنون استاد مهندسی برق این دانشگاه است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند آنتن‌های مایکروویو، انتشار امواج، مدارات مایکروویو، مخابرات سیار، مخابرات ماهواره‌ای و فناوری فضائی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir