پنجمین کنفرانس بین المللی اینترنت اشیاء و کاربردها
اردیبهشت ۱۴۰۰ - دانشگاه اصفهان

افزایش امنیت سیستم های IOT در صنعت نفت و گاز

امیر سرلک[۱*]، کامران عسگری[۲] و حسین محمدی نژاد[۳]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه شیخ بهایی اصفهان، Amirsarlak@gmail.com
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه شیخ بهایی اصفهان، Kamran.Asgari@gmail.com
[۳] استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شیخ بهایی اصفهان، mohammadi.n@shbu.ac.ir

چکیده : در صنایع نفت و گاز، چالش هایی همچون بلایای طبیعی، نشت لوله نفت و گاز و محدودیت های ارتباطی و نظارتی مختلفی وجود دارد که بدون استفاده از فناوری می تواند منجر به پیامدهای مالی و حتی جانی قابل توجهی شود. امروزه اینترنت اشیاء در صنایع نفت و گاز به ردیابی و نظارت بر منابع، جمع آوری گسترده داده ها، کاهش هزینه ها، کاهش زمان نظارتی، ایمنی بیشتر و به طور کلی افزایش بهره وری کمک می کند. در سال های اخیر، استفاده از فناوری نوین اینترنت اشیا به عنوان ارتباط دهنده هوشمند حسگرها و دستگاه ها در صنعت نفت چه به صورت پایلوت و چه در مقیاس واقعی رو به گسترش بوده است. استفاده از فناوری اینترنت اشیا در حوزه صنعت نفت باعث افزایش امنیت می گردد، که در این مقاله جهت افزایش امنیت سیستم های *IOT* در صنعت نفت و گاز از طریق مدیریت کلید رمزنگاری متقارن توسط الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی و *K-MEANS* بهره می برد. در این مقاله جهت شبیه سازی از نرم افزار متلب استفاده شده است.

کلید واژه‌ها: صنایع نفت و گاز، نشت لوله نفت و گاز، اینترنت اشیا، حسگرها و دستگاه ها، مانیتورینگ، نظارت بر خط لوله.

۱- مقدمه

اینترنت اشـــیا، اینترنت از کاربران، دســـتگاه های ســـمت کلاینت و سرورها تشکیل شده است؛ اما عضو جدیدی در حال اضافه شدن به این مجموعه است. این عضو جدید کاربر نیست و از آن به عنوان اشـــیا یاد می شـــود این کلمه از عبارت The Internet of the Things برگرفته شده است. به اختصار به اتصال وسایل به شبکه اینترنت نیز گفته می شود همچنین از آن به نام cloud of Things نیز نام می برند. یک شی ممکن است به هر دستگاهی که دارای سنسوری جهت تبادل اطلاعات است گفته شود،که شامل سنسور دما، سنسورهای حرارتی و سنسورهای اندازه گیری انرژی و همچنین متناســب با نوع پردازش مورد نظر می تواند وســایل شــامل تلویزیون، ســیســتم های ســرمایشــی و گرمایشـــی، روشـــنایی و غیره را دربرگیرد[1]. در صـــنعت نفت و گاز، برای توصـــیف آینده ای که در آن اشـــیای فیزیکی یکی پس از دیگری به اینترنت وصل می شوند وبا اشیای دیگر در ارتباط قرار می گیرند. در این تکنولوژی به هر چیز یک شناسه ID منحصر به فرد و همچنین یک IP تعلق می گیرد که بتواند داده ها را برای پایگاه داده مشخص شده ارسال کند. مفهوم مهم دیگر، اینترنت اشیا ماشین به ماشین یا M2M است. این مفهوم راهی را که یک ماشین با ماشین دیگر جهت برقراری ارتباط انتخاب می کند نشان می دهد .اینترنت اشـیا هم چگونگی برقراری ارتباط یک دسـتگاه هوشـمند در صـنعت نفت و گاز با سـرویس ابری و هم چگونگی اتصـال دسـتگاه ها به همدیگر را نشان می دهد[2]. روند تکامل به این گونه بوده که ابتدا ارتباط بین ماشین با ماشـین M2M بوده با اسـتفاده از شـبکه های مختلف مخابراتی صـورت می گیرد که به طور مثال در صنعت اطلاعات از سنسور گرفته شده وارد کامپیوتر شخصی شده سپس پردازش محلی شده و برای اجرا به ماشینی از راه نزدیک فرستاده می شود. ولی در IOT اشیا به شبکه اینترنت متصل بوده که در این حال فرمان و پردازش می تواند محلی نباشـد. در سـیسـتم IOE همه ساختارها از جمله اشیا ، انسان ها ... به هم توسط شبکه اینترنت متصل شده و پردازش روی کلیه داده ها انجام می شـود. با اینکه تعداد node ها (سـیسـتم دارای سنسور) خیلی زیاد هست ولی پهنای باند آنها کمتر است و اطلاعات باید به صورت Real Time پردازش و ارسال شوند. همچنین Node ها باید با توان بسیار پایین کار کنند.

از لحاظ فنی، اجزا و پارامترهای اصـلی یک سـیسـتم مبتنی بر اینترنت اشیا عبارتند از: هوش مصنوعی، اتصالات، حسگرها، مدیریت فعال و اشیای کوچک. وجود حسگرها باعث می شود که IoT از یک شبکه غیرفعال به شبکه ای فعال تبدیل شود. این کار در بستر هوش مصـنوعی انجام می شـود که به کمک الگوریتم های آن، هر جزیی از سیستم هوشمند شده و عملکرد آن بهبود می یابد[3] .تاکنون در صنعت نفت چندان به اینترنت اشیا توجه نشده است و شاید بتوان ادعا کرد که صنعت نفت از این کاروان عقب مانده است. اما به دلیل چالش های بزرگ موجود در صنعت نفت و گاز که عمدتاً به علت استفاده از روش های قدیمی و ناکارآمد در مدیریت داده و مدیریت دارایی می باشـد، اسـتفاده از اینترنت اشـیا در آینده مورد توجه گرفته و باعث تغییرات شگرفی در این صنعت خواهد شد. به عنوان نمونه جمع آوری داده ها از طریق حسگرهای مبتنی بر اینترنت اشیا و تحلیل داده ها می تواند هزینه های اسـتخراج نفت را کاهش دهد. این کار از طریق آپدیت کردن مداوم برنامه ها پس از دریافت داده های جدید صورت می گیرد. همچنین نظارت بر خطوط لوله و کشتی های حمل و نقل نفت از طریق سیستم اینترنت اشیا می تواند باعث کاهش خسارات مالی و

زیست محیطی شود. انتقال اطلاعات از طریق وایفای، بلوتوث و مثال هایی از نحوه برقراری دستگاه ها به همدیگر است. در مبحث ماشین به ماشین اینترنت اشـــیا، موضـــوع مهم منابع محدودی مانند قدرت پردازش، حافظه رم و غیره اســت. بســتر اینترنت اشــیا بر امواج رادیویی بی ســیمی قرارداده شــده که به دســتگاه های مختلف این امکان را می دهند تا از طریق اینترنت با یکدیگر به برقراری ارتباط بپردازند. این بستر شامل استانداردهایی مانند وای فای، بلوتوث کم مصرف، NFC، RFID و استانداردهایی مانند ZigBee و Z-Wave است.

یکی از مهمترین مسائل در زمینه تامین امنیت در صنعت نفت و گاز،که بسیار مورد توجه قرار گرفته است، مدیریت متقارن [۱]و نامتقارن ([۲]روش کلید عمومی[۳])،استفاده می شود. در روش رمزنگاری متقارن به منظور رمزنگاری داده و رمزگشایی از آن فقط از یک کلید استفاده می شود که این کلید میان فرستنده و گیرنده داده مورد نظر مشترک است. ولی در روش رمزنگاری نامتقارن به منظور رمزنگاری و رمزگشایی از دو کلید مجزا استفاده می شود. به این ترتیب عمومی در اختیار همه گره های شبکه قرار می گیرد ولی کلید خصوصی فقط در اختیار صاحب اصلی آن و هویتی [۴]که کلید ها را تولید و صادر می کند، قرار می گیرد که به آن CA [۵]نیز گفته می شود. ویژگی الگوریتم های رمزنگاری متقارن و نا متقارن این است که در تمامی این روش ها، الگوریتم رمزنگاری ها،الگوریتم رمزنگاری و رمزگشایی پنهان نیست و در اختیار همه قرار می گیرد ولی کلید هایی که استفاده می شوند به صورت پنهان و فقط در اختیار هویت های مجاز در صنعت نفت و گاز قرار می گیرند. الگوریتم های رمزنگاری متقارن به دلیل اندازه کوچک کلید هایی که به منظور رمزنگاری و رمزگشـــایی داده در آنها به منظور رمزنگاری و رمزگشایی داده ها استفاده می شوند دارای سرعت پردازش بالا می باشند ولی احتمال آشکار شدن اطلاعات کلید در این الگوریتم ها توسط نفوذگران در صنعت نفت و گاز بالا می باشد. ولی در الگوریتم های رمزنگاری نامتقارن همانند Diffie helman و RSA به دلیل طول زیاد کلیدهای رمزنگاری (معمولا بالای ۱۰۲۴ بیت)، ســـرعت پردازش به منظور رمزنگاری و رمزگشـایی کند می باشـد ولی دارای امنیت بالاتری نسـبت به الگوریتم های متقارن می باشـند. اخیرا کار روی الگوریتم رمزنگاری نا متقارن در حال انجام است که نسبت به روش های سنتی همانند RSA ،این نسل از الگوریتم از کلیدهای با طول کوتاهتری استفاده می کند که الگوریتم خم منحنی بیضوی [۶]نام دارد و با توجه به کوتاه شدن طول کلید در این روش و امنیت بالای آن توجه ویژه ای روی این روش شده است تا بتوان از این روش در شبکه هایی که محدودیت منابع دارند، استفاده شود به ویژه در صنعت نفت و گاز که گره های IOT دارای فضـای حافظه محدود به منظور ذخیره سازی کلید و پردازشگر هایی با توان پردازشی پایین به منظور انجام محاسبات دارند. به عنوان مثال روش خم منحنی بیضوی با طول کلید ۱۶۰ بیتی دارای امنیت مشابه با الگوریتمRSA با طول کلید ۱۰۲۴ می باشد. البته استفاده از این روش در صنعت نفت و گاز به ندرت انجام می گیرد و بیشتر توجه محققان در صنعت نفت و گاز به منظور رمزنگاری، استفاده از الگوریتم های رمزنگاری متقارن می باشد. به طور کلی مدیریت کلید در صنعت نفت و گاز شامل چند مرحله می باشد.

۱-۱- پروتکل های مدیریت کلید در صنعت نفت و گاز

به طور کلی پروتکل های مدیریت کلید در صـنعت نفت و گاز را می توان به سه دسته روش های استقرار کلید جفت جفت و تک کلید،پیش توزیع کلید، مدیریت کلید پویا و مدیریت کلید سلسله مراتبی تقسیم بندی نمود.روش هایی همچون به صورت روش های پیش توزیع کلید تصادفی، پیش توزیع کلید تصادفی مرکب، تقویت چند مسیره، کلید جفت تصادفی پیش توزیع کلید مبتنی بر مخزن چند جمله ای، پیش توزیع کلید زیر مجموعه تصـادف، پیش توزیع مبتنی بر توری مجازی مدیریت کلید مبتنی بر دانش استقرار و مدیریت کلید وابسته به مکان در دسته پروتکل های مدیریت کلید مبتنی بر پیش توزیع کلید قرار می گیرند. در این مقاله با توجه به ویژگی هایی که الگوریتم سلسـله مراتبی در مدیریت کلید دارد، برای افزایش امنیت صـنعت نفت و گاز از این الگوریتم بهره می بریم.

۱-۲- مدیریت کلید سلسله مراتبی :

روش های بعدی در زمینه مدیریت کلید در صنعت نفت و گاز، روش های مدیریت کلید سلسله مراتبی می باشند که مهمترین روش ارائه شده در این زمینه ارائه شده است. این روش بر اساس این تئوری امنیت مطرح شده است که بسته های مختلف تبادلی در شبکه با توجه به اهمیتشـان نیازمند مکانیزم های امنیتی متفاوت هسـتند و کلیدهای متفاوت رمزنگاری برای انواع بسـته های داده و مسـیریابی تولید می شـود .در این روش چهار نوع کلید تولید می شـود،کلید منحصر بفرد، کلید جفت جفت ،کلید خوشه و کلید گروه. کلید منحصر بفرد کلیدی است که میان ایستگاه پایه و هر گره در شبکه مشترک می شود و ایستگاه پایه بمنظور ارسال پیغام های شخصی به هر گره از ان استفاده می کند. کلید جفت جفت، کلید منحصر بفردی است که بین هر گره و همسایه اش مشترک می شود و از آن برای ارسال داده

---

[۱] Symmetric
[۲] Asymmetric
[۳] Public key
[۴] Entity
[۵] Certificate Authority
[۶] Elliptic Curve Cryptography

به گره ای که مسئول جمع اوری داده ها از دیگر گره ها و ارسال آنها به ایستگاه پایه است استفاده می کند، همچنین از این کلید برای توافق روی کلید خوشه استفاده می شود.کلید خوشه ،کلیدی مشترک میان هر گره با همسایگانش می باشد که بوسیله این کلید عمومی و مشترک هر گره در صورتی که مشاهده کند همسایه اش داده مشابهی را با سیگنال ارسالی بهتری به ایستگاه پایه ارسال می کند از ارسال صرف نظر می کند و به این وسیله سربار ارسال داده در شبکه کاهش می یابد. کلید گروه نیز کلیدی است که میان ایستگاه و همه گره ها در شبکه مشترک است و نیازمند سیاست تولید کلید مجدد مناسبی است چون اگر توسط یکی از گره ها فاش بشود امکان افشا شدن اطلاعات رمزشده توسط این کلید در کل شبکه وجود دارد .از مزایای این روش می توان به قابلیت توسعه شبکه،احراز هویت گره ها قبل از ارتباط با یکدیگر،بالا بردن امنیت اطلاعات تبادلی در شبکه حتی در صورت فاش شدن دسته ای از کلیدها و انعطاف پذیری شبکه را نام برد.از مشکلات این روش می توان به سربار زیاد محاسباتی و ارتباطی اشاره کرد ودیگر اینکه در این روش گره ها به منظور نگهداری کلید ها به حافظه نسبتا زیادی نیاز دارند که هرچه تراکم گره ها در شبکه بیشتر شود این مشکل نیز حادتر می شود. در این مقاله از کلید خوشه بهره برده شده است.

۲- نتایج شبیه سازی

در این مقاله، ما کارایی روش های K-Means و سلسله مراتبی رادر مدیریت کلید رمزنگاری سیستم IOT در صنعت نفت و گاز را با در نظر گرفتن تابع هدف الگوریتم سلسله مراتبی ارزیابی و مقایسه می نماییم. همچنین کیفیت خوشه بندی مورد نظر توسط دو معیار زیر بررسی می گردد:

مجموعی بر روی تمامی نقاط داده های کلید بر اساس میانگین هارمونیک فاصله از یک نقطه تا تمامی مراکز، همان طور که در معادله (۱) آمده است. واضح است که هر چه مقدار این مجموع کوچکتر باشد خوشه بندی با کیفیت بهتری خواهیم داشت(هرچه خوشه بندی با کیفیت بالاتری انجام گیرد، در واقع مدیریت کلید کیفیت بهتری دارد). معیار F-Measure که از ایده های دقت و فراخوانی به منظور بازیابی اطلاعات استفاده می کند. هر کلاس i (همان طور که توسط برچسب های کلاس در مجموعه داده های کلید مورد ارزیابی آمده است) به صورت مجموعی از n_i بخش مطلوب برای یک تحقیق و پرس و جو در نظر گرفته می شود. هر خوشه j (که توسط الگوریتم تولید شده) به صورت مجموعی از n_j بخش بازیابی شده توسط یک پرس و جو در نظر گرفته می شود. n_{ij} تعداد عناصر کلاس i در داخل خوشه j را می دهد .برای هر کلاس i و خوشه j معیارهای دقت و فراخوانی به صورت زیر تعریف می شود:

$$r(i,j) = \frac{n_{i.j}}{n_i} \qquad (۱)$$

$$p(i,j) = \frac{n_{i.j}}{n_j} \qquad (۲)$$

مقدار F-Measure متناظر نیز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$F(i,j)=\frac{(b^2+1).p(i.j).r(i.j)}{b^2.p(i.j)+r(i.j)} \qquad (۳)$$

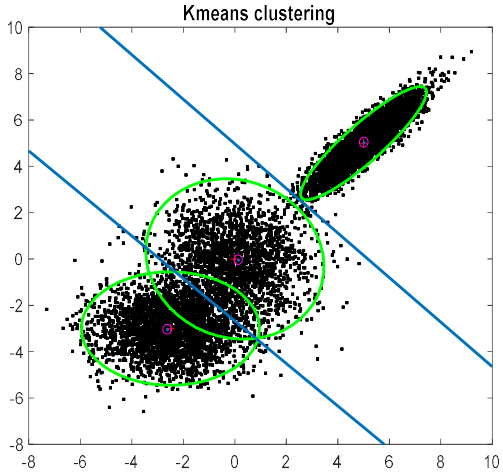
که ما در اینجا مقدار $b=1$ در نظر می گیریم که توازن برابری برای $p(i,j)$ و $r(i,j)$ داشته باشیم. مقدار F-Measure کلی برای مجموعه داده های با اندازه n به صورت زیر می باشد:

$$F = \sum_i \frac{n_i}{n} max_j\{F(i.j)\} \qquad (۴)$$

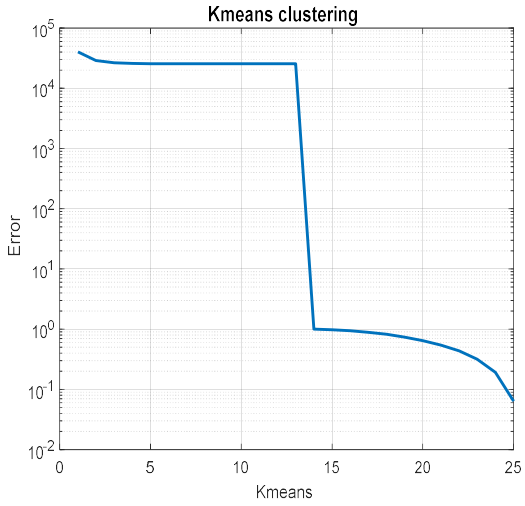
واضح است که هر چقدر مقدار F-Measure بیشتر باشد کیفیت خوشه بندی بهتر خواهد بود، و همانطور که بیان شد هر چقدر خوشه بندی کیفیت بهتری داشته باشد درواقع مدیریت کلید بهتری خواهیم داشت. در این مقاله برای انجام شبیه سازی در ابتدا الگوریتم خوشه بندی k-means را شبیه سازی میکنیم، سپس نسبت به الگوریتم پیشنهادی مقایسه می کنیم.

۲-۱- الگوریتم K-means

الگوریتمK-means یکی از مشهورترین الگوریتم های خوشه بندی داده در مدیریت کلید رمزنگاری سیستم های IOT در صنعت نفت و گاز می باشد که به دلیل پیاده سازی آسان و سرعت عملکرد محبوبیت زیادی یافته است اما مشکلاتی از قبیل حساس بودن به مقدار اولیه و گرفتار شدن در دام بهینه محلی از قدرت عملکرد آن می کاهد. پس از انجام شبیه سازی، در دسته بندی ۳ خوشه بصورت شکل (۱) عمل کرده است. همانطور که در شکل (۱) مشخص است، این الگوریتم دسته بندی خوشه ها حتی در تعداد پایین خوشه ها نتوانسته خوب عمل کند به همین علت ممکن است در تصمیم گیری به مشکل برخورد کند، و همچنین باعث افزایش زمان شود. در شکل (۲) این موضوع مشخص است.

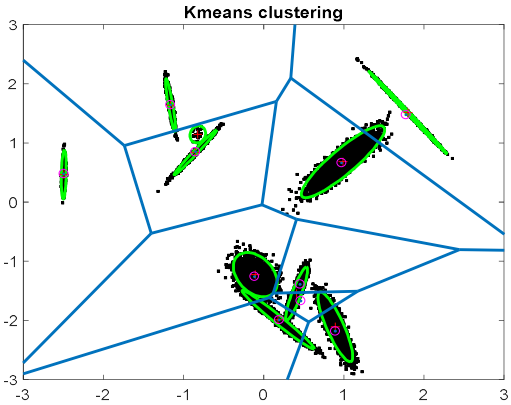


شکل (۱): الگوریتم خوشه بندی k-means

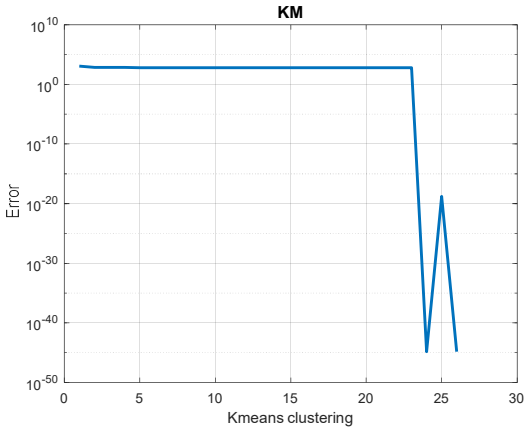


شکل (۲): خطا در دسته بندی خوشه ها

خو شه بندی KM یک روش ساده و سریع ا ست که به دلیل پیاده سازی آسان و تعداد تکرار کم، عموما مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع در روش خوشــه بندی KM حســاس بودن به مقدار اولیه را پوشش ، می دهد اما مشکل گرفتار شدن در دام بهینه محلی همچنان این الگوریتم را تهدید می کند، و زمانیکه تعداد داده ها در کلید زیاد با شد، در خوشه بندی داده های کلید با مشکل بر می خورد و باعث می شود خطا در کلاســـترینگ داده ها افزایش یابد، و زمان را افزایش می دهد، و در نتیجه مدیریت کلید خوبی نخواهیم دا شت. پس از انجام شبیه سازی های به شکل (۳) ر سیده ایم. شکل (۴) مقدار خطای ایجاد شده در ابعاد بالا با ا ستفاده از این روش خوشه بندی را نشان می دهد.



شکل (۳): خوشه بندی k-means با داده هایی با ابعاد بالا در کلید



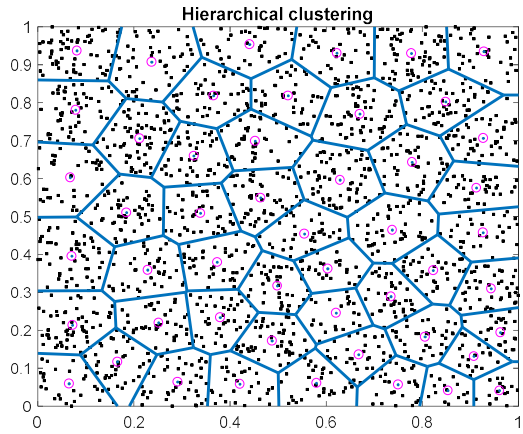
شکل (۴): خطا در دسته بندی خوشه ها با داده هایی با ابعاد بالا در کلید

همانطور که از شکل (۴)مشاهده می کنید، با گذ شت زمان خطا کم می شـود، پس در خوشــه بندی K-MEANS افزایش می یابد، و هم خطا را در هر لحظه دارد.

۲-۲- الگوریتم سلسله مراتبی

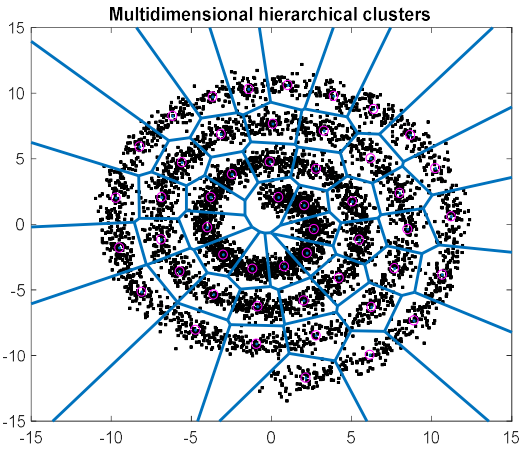
در این مقاله الگوریتم سلسله مراتبی سعی می کند که علاوه بر فرار از گرفتار شدن در دام بهینه محلی در الگوریتم K-MEANS بر سـرعت پایین و همگرایی این الگوریتم نیز غلبه کند. پس از انجام شـبیه سازی به شکل (۵) ر سیدیم که همانطور که م شخص ا ست این الگوریتم در دســته بندی خوشــه ها نســبت به خوشــه بندی قبلی بهتر عمل می کند، و مدیریت کلید خیلی بهتری خواهشم داشت.

الگوریتم سلسله مراتبی

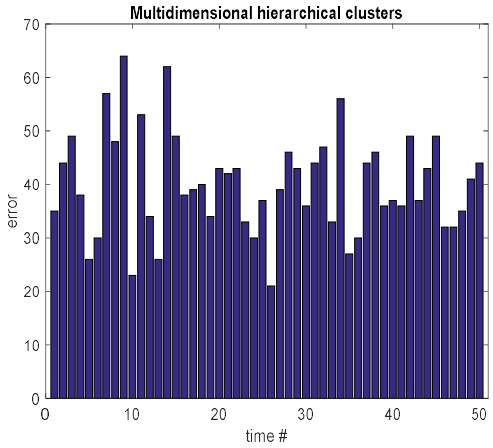


شکل (۵): الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی در مدیریت کلید

حال این الگوریتم خو شه بندی را برای اینکه نشان دهیم در د سته بندی داده ها با ابعاد بالا در مدیریت کلید نیز خوب عمل می کند، این الگوریتم را برای دسته بندی داده های کلید در ۵۰ خوشه بکار می بریم. در شکل (۶) می توانید مشاهده کنید. همچنین مقدار زمان و خطای ایجاد شده در این خو شه ها را نیز می تواند در شکل (۷) مشاهده نمایید.



شکل (۶): د سته بندی خوشه ها در کلید برای ۵۰ خوشه در الگوریتم سلسله مراتبی



شکل (۷): مقدار زمان و خطا در مدیریت کلید رمزنگاری با ۵۰ خو شه تو سط

۳- نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های هوشمند و بروز در صنعت نفت و گاز به متخ صصین کمک می‌نماید تا بتوانند بهترین بهره‌گیری لازم این تکنولوژی‌ها را برای کاهش تلفات بکار بندند که اینترنت اشیاء از این امر مستثنی نیست. با توجه به محدودیت زمانی و حساسیت بالای تصمیم‌سازی در شرایط اضطراری در خط لوله صنعت نفت و گاز، اینترنت اشیاء به دلیل یکپارچگی بین سیستم های مختلف، سرعت انجام امور را افزایش داده و کمک می‌کند تا تصمیم‌گیری های مناسب ومتناسب در حداقل زمان ممکن صورت پذیرد. باید توجه داشت که فرهنگ‌سازی لازم به منظور تامین بسترهای مناسب و متناسب فراهم آید. تقابل سنت و تجدد در بحث اینترنت اشیاء از جمله نکات مهمی است که باید با ادبیات متناسب با آن تعامل نمود. استفاده از سیستم‌های ابری و بطور کلی محاسبات ابری کمک می‌کند که در هر لحظه بصورت آنلاین بتوان بهترین عکس العمل‌ها را متنا سب با داده‌ها و اطلاعات در اختیار در اختیار تو صیف و تحلیل نمود. این مقاله، در ابتدا به توضیحاتی در مورد امنیت سیستم های IOT در صنعت نفت و گاز پرداخته و سپس به بررسی راهکارهایی برای بهبود زمان اجرا و کاهش پیچیدگی زمانی و همچنین بهبود مدیریت کلید رمزنگاری می‌پردازد. سپس به شبیه سازی و مقایسه مدیریت کلید رمزنگاری توسط دسته بندی خوشه‌ها توسط الگوریتم k-means، سلسله مراتبی می‌پردازد. و سپس زمان مصرف شده در رمزنگاری و مدیریت کلید در دسته‌بندی داده‌ها را در ۵۰ خوشه را مورد بررسی قرار می‌دهد. در واقع این مقاله به بررسی رمزنگاری و مدیریت کلید توسط الگوریتم سلسله مراتبی داده ها پرداخته است. ایده اصلی در این الگوریتم علاوه بر اینکه سرعت همگرایی الگوریتم KM را بهبود می بخشد، می‌تواند KM را از افتادن در دام بهینه محلی حفظ می‌کند. این الگوریتم در امر دسته بندی خوشه‌ها بسیار کارا می‌باشد. و همچنین در د سته بندی خو شه‌ها در داده ها با ابعاد بالا بسیار بهتر عمل می کند.

مراجع

[1] Desroches, Louis, et al., *Unlocking the potential of IoT for beam pump surveillance in mature oil fields*, Presented at IoT solution world congress, Barcelona, ۳۵- October, .۲۰۱۷

[2] Flichy, Philippe, and Claude Baudoin. *The Industrial IoT in Oil & Gas: Use Cases.* SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, .۲۰۱۸

[3] Elmer, William G. *Artificial Lift Applications for the Internet of Things.* SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, .۲۰۱۷

[4] Johnsrud, Per Christian, Kyrre Tømmerberg, and Marius Haaverstad.V, *Improved Operation of Subsea Boosting Systems through AdvancedVCondition Monitoring and Data Analytics.* Offshore TechnologyVConference. Offshore Technology Conference, .۲۰۱۸

[5] Tomas, Juan Pedro, Industrial IoT case study: Shell uses the IoT for pipeline monitoring Enterprise IoT Insights, .۲۰۱۷

[6] Murray, John, and Klas Eriksson. *Data Management and Digitalisation: Connecting Subsea Assets in the Digital Space.* Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference, ۲۰۱۸