

ШИНЖЛЭХ УХААН, ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
Мэдээлэл, Холбооны Технологийн Сургууль

Хураангуй

Прокси дахин шифрлэх схемийн туршилтын системийг
хөгжүүлэх нь

А.Мягмарцэрэн
b190970106@must.edu.com

Түлхүүр үгс: мэдээллийн аюулгүй байдал, прокси дахин шифрлэлт

Талархал

Энэхүү дипломын ажлыг бичихэд туслалцаа үзүүлсэн удирдагч багш Н.Чулуунбаатар болон ШУТИС-ийн Мэдээлэл холбоо технологийн сургуулийн Электроникийн салбарын багш нарт талархсанаа илэрхийлье.

Товчилсон үгс

| | |
|------------|---|
| PRE | P roxy R e- E ncryption |
| BBS | B laze B leumer S trauss |
| API | A pplication P rogramming I nterface |

*Зураг боловсруулалт, автоматжуулалтад сэтгэлээ зориулж
байгаа нийт инженерүүддээ зориулав*

Гарчиг

Зургийн жагсаалт

Хүснэгтийн жагсаалт

БҮЛЭГ 1

Өгөгдөл хуваалцах үйлчилгээний тухай

1.1 Өгөгдөл хуваалцах үйлчилгээ

Өгөгдөл хуваалцах гэдэг нь ижил өгөгдлийн нөөцийг олон программ, хэрэглэгч эсвэл байгууллагад ашиглах боломжтой болгохыг хэлнэ. Үүнд технологи, практик, хууль эрхзүйн орчин, соёлын элементүүд багтах ба өгөгдлийн бүрэн бүтэн байдлыг алдагдуулахгүйгээр аж ахуйн нэгжүүд хялбар, аюулгүй өгөгдөлд хандах боломжийг олгодог.

Өгөгдөл хуваалцах нь байгууллагын үр ашгийг дээшлүүлж, борлуулагчид болон түншүүдтэй хамтын ажиллагааг дэмжинэ. Хуваалцсан өгөгдлийн эрсдэл, боломжуудын талаар мэдлэгтэй байх нь үйл явцын салшгүй хэсэг юм. [AWSDataSharing].

1.1.1 Өгөгдөл хуваалцах технологиуд

Өгөгдөл хуваалцах олон технологи байдагаас зарим технологиудаас дурдвал.

- **Өгөгдлийн агуулах (Data warehousing)** нь нэг буюу хэд хэдэн ялгаатай эх сурвалжийг нэгтгэсэн төвлөрсөн агуулах юм. Архитектур нь шатлалаас бүрддэг. Дээд давхарга нь тайлагнах, дүн шинжилгээ хийх, үр дүнг харуулдаг front-end клиент юм. Дунд шат нь өгөгдөлд хандах, дүн шинжилгээ хийхэд ашигладаг аналитик механизмаас бүрдэнэ. Доод шат нь өгөгдлийг ачаалах, хадгалах өгөгдлийн сангийн сервер юм. Дээд болон дунд түвшний програмууд нь доод давхаргад хадгалагдсан нийтлэг өгөгдлийн багцыг хуваалцах боломжтой.
 - Олборлох, хувиргах, ачаалах суурилсан (ETL based data warehouse)
 - Олборлох, ачаалах, хувиргах суурилсан (ELT based data warehouse)
- **Хэрэглээний программчлалын интерфэйс (API)** нь программ хангамжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд тодорхой протоколуудыг ашиглан хоорондоо харилцах боломжийг олгодог механизм юм. Интерфэйс нь хоёр программын хоорондох үйлчилгээний тохиролцоо гэж үзэж болно. Энэхүү тохиролцоо нь хэрхэн харилцах хүсэлт болон хариултыг тодорхойлдог. Хандалтыг нарийн тодорхойлж болдог ба хэрэглэгчид яг ямар өгөгдөл хүсч болохыг зааж өгдөг.
 - SOAP APIs XML ашигладаг. Уяан хатан бус.
 - RPC APIs нь алсаас функ дуудаж ажилдаг.
 - Websocket APIs нь холболт үүсгэж сервер болон хэрлэгч альч чиглэлд нэг холболтоор дамжуулах боломжтой.
 - REST APIs нь уян хатах PUT DELETE гэх мэт хүсэлт илгэдэг.
- **Холбооны сургалт (Federated learning)** нь тархсан өгөгдлийг багц дээр хиймэл оюун ухааныг сургах боломжийг олгодог. Бүх өгөгдлийг нэг дор цуглуулж нэгтгэхийн оронд тус тусдаа төхөөрөмж дээр хадгалж зөвхөн загварын шинэчлэлтүүдийг төв сервер рүү илгээдэг.
- **Блокчейн технологи** нь сүлжээн дотор ил тод мэдээлэл солилцох боломжийг олгодог өгөгдлийн сангийн дэвшилтэт механизм юм. Өгөгдлийг гинжин хэлхээнд холбосон блокуудад хадгалдаг. Сүлжээнээс зөвшилцөлгүйгээр гинжийг устгах эсвэл өөрчлөх боломжгүй.
- **Өгөгдөл солилцох платформууд**

Нээлттэй өгөгдлийн платформууд нь өөр өөр өгөгдлийн багцыг нийтийн хэрэгцээнд ашиглах боломжийг олгодог. Ихэвчлэн өгөгдлийн менежмент, өгөгдлийн аюулгүй байдал, өгөгдөл нэгтгэх, өгөгдөл хуваалцах, хамтран ажиллах зэрэг олон төрлийн функцуудыг санал болгодог.

1.1.2 Файл хуваалцах

Олон хэрэглэгч эсвэл төхөөрөмж нэг файл эсвэл багц файлд хандах боломжийг олгох практикийг хэлнэ. Файл хуваалцахыг уламжлалт болон орчин үеийн янз бүрийн арга технологи ашиглан хийж болно.

Уламжлалт

- Физик зөөвөрлөгч: Файлуудыг CD, DVD эсвэл USB гэх мэт физик медиа ашиглан хуваалцаж болно. Энэ арга нь интернетийн хандалт хязгаарлагдмал эсвэл боломжгүй үед файл хуваалцахад тустай.
- Сүлжээгээр файл хуваалцах: Файлуудыг Server Message Block (SMB) эсвэл Network File System (NFS) зэрэг технологийг ашиглан дотоод сүлжээгээр хуваалцаж болно. Энэ арга нь байгууллага дотор эсвэл гэрийн сүлжээн дэх төхөөрөмжүүдийн хооронд файл хуваалцахад хэрэгтэй.

Орчин үеийн

- Клоуд сан: Dropbox, Google Drive эсвэл OneDrive зэрэг үүлэн хадгалах үйлчилгээ нь хэрэглэгчдэд үүлэн доторх файлуудыг хадгалах, бусадтай хуваалцах боломжийг олгодог. Энэ арга нь өөр өөр төхөөрөмж, байршилд файл хуваалцахад тустай бөгөөд интернэт холболттой хаанаас ч хандах боломжтой.
- Файл дамжуулах үйлчилгээ: WeTransfer, Hightail эсвэл Filemail зэрэг файл дамжуулах үйлчилгээ нь хэрэглэгчдэд том хэмжээний файлуудыг бусдад хурдан бөгөөд хялбар илгээх боломжийг олгодог. Энэ арга нь байгууллагаас гадуурх хүмүүстэй файл хуваалцах эсвэл имэйл хавсралтын хязгаарт хүрсэн үед хэрэгтэй.
- Per-to-peer файл хуваалцах: Peer-to-peer (P2P) файл хуваалцах нь хэрэглэгчдэд төвлөрсөн сервер ашиглахгүйгээр шууд бие биетэйгээ файл хуваалцах боломжийг олгодог. P2P файл хуваалцах нь ихэвчлэн кино, программ хангамж гэх мэт том файлуудыг хуваалцахад ашиглагддаг боловч бусад төрлийн файлуудыг хуваалцахад ашиглаж болно.

Файл болон өгөгдөл хуваалцах нь олон давуу талтай ч өгөгдлийг эрсдэлд оруулдаг.

1.2 Өгөгдлийн аюулгүй байдал

Өгөгдлийн аюулгүй байдал гэдэг нь дижитал мэдээллийг зөвшөөрөлгүй хандах, өөрчлөх, хулгайлахаас хамгаалах үйл ажиллагаа юм. Физик төхөөрөмжийн хамгаалалтаас эхлээд хандалтын удирдлага, программ хангамжийн логик аюулгүй байдал мэдээллийн аюулгүй байдлын бүх талыг хамарсан ойлголт юм. [IBMSecureData]

Нууц эмзэг мэдээлэл санхүүгийн чадамж бичиг баримт зэргийг буруу зорилгоор ашиглах боломжтой. Байгуулгын хувьд хэрэглэгчдийн мэдээлэлийг алдаж буруу гарт орохоос сэргийлж хамгаалах ёстой. Мөн тухайн байгуулга нь хакдуулах мэдээлэлээ алдах нь нэр хүнд нь халтай ба хэрэглэгчдийн итгэлийг алдах аюултай.

1.2.1 Өгөгдлөл хуваалцах эрсдэлүүд

- **Нууцлалыг задруулах**

Хувийн нууцыг алдагдуулахгүйгээр өгөгдлийг хуваалцахын тулд шифрлэлт, засварлах зэрэг нууцлалыг хамгаалах технологи нь өгөгдлийг аюулгүй хуваалцах боломжийг олгодог.

- **Өгөгдлийн буруу тайлбар**

Өгөгдөл бэлтгэгч болон хэрэглэгчдийн хоорондын харилцаа холбоо дутмагаас буруу тайлбар гарч болзошгүй. Шинжээчид тайлан, үр дүнг тайлбарлахдаа буруу таамаглал дэвшүүлж болно. Жишээлбэл, тухайн сард үйлчлүүлэгчдийн захиалга багассан нь маркетингийн төсөв багатай холбоотой байж болох ч бодит шалтгаан нь бүтээгдэхүүний бэлэн байдлын саатал байж болох юм.

- **Өгөгдлийн чанар муудах**

Давхардсан эсвэл дутмаг чанар муутай өгөгдөл авах эрсдэлтэй.

1.2.2 Өгөгдлийн аюулгүй байдлын төрлүүд

- **Шифрлэлт** нь түлхүүр нууц үггүйгээр өгөгдлийг унших боломжгүй бологдог ба криптографын алгоритмуудыг ашиглан энгийн текстийг шифрлэх үйл явц юм. Энэ нь халдагчид өгөгдөлд нэвтэрсэн байсан ч зохих итгэмжлэлгүйгээр үүнийг уншиж чадахгүй гэдгийг баталгаажуулахад тусалдаг.
- **Хандалтын удирдлага** нь нууц өгөгдөлд хэн хандах эрхтэй болохыг тэдний үүрэг, зөвшөөрлийн түвшинд үндэслэн хязгаарладаг. Үүнд нууц үг, биометрийн баталгаажуулалт, хамгаалалтын токен зэрэг арга хэмжээ багтана.
- **Нөөцлөх, сэргээх** үйл явц нь аюулгүй байдлын зөрчил эсвэл өгөгдөл алдагдсан тохиолдолд сэргээх боломжтой байхын тулд мэдээллийн хуулбарыг үүсгэх, хадгалах явдал юм.
- **Физик аюулгүй байдал** нь өгөгдөл хадгалах төхөөрөмж болон физик хандалтыг хамгаалахын тулд түгжээтэй хаалга, хамгаалалтын камер зэрэг физик хамгаалалтын арга хэмжээг ашигладаг.
- **Өгөгдөл устгах** Өгөгдлийг устгах нь хамгийн аюулгүй хэдий дахин ашиглах боломжгүй. Ихэвчлэн дахин ашиглахгүй өгөгдлийн дарж бичих зэргээр устгадаг.
- **Өгөгдлийн далдлах** нь нууц мэдээллийг анхны өгөгдлийн бүтцийг хадгалан зөвшөөрөлгүй хэрэглэгчдэд ашиглах боломжгүй болгож буй хуурамч мэдээллээр солих явдал юм.

Аюулгүй өгөгдөл хуваалцах

Байгууллагийн хэмжээ, төрөл, салбараас хамааран аюулгүй мэдээлэл солилцох олон арга зам байдаг. Дагаж мөрдөх эрсдэлгүйгээр өгөгдөл хуваалцах аюулгүй байдлыг хангахын тулд байгууллага бүр хийх ёстой зургаан алхмыг энд оруулав.

1. Өгөгдлийн ангилал, мэдээллийн удирдлагын бодлогыг бий болгох
2. Өгөгдөл хуваалцах аюулгүй байдлын зохих хяналтыг хэрэгжүүлэх
3. Таны нууц мэдээлэл хаана байгаа болон түүнд хэн хандах боломжтойг хянах

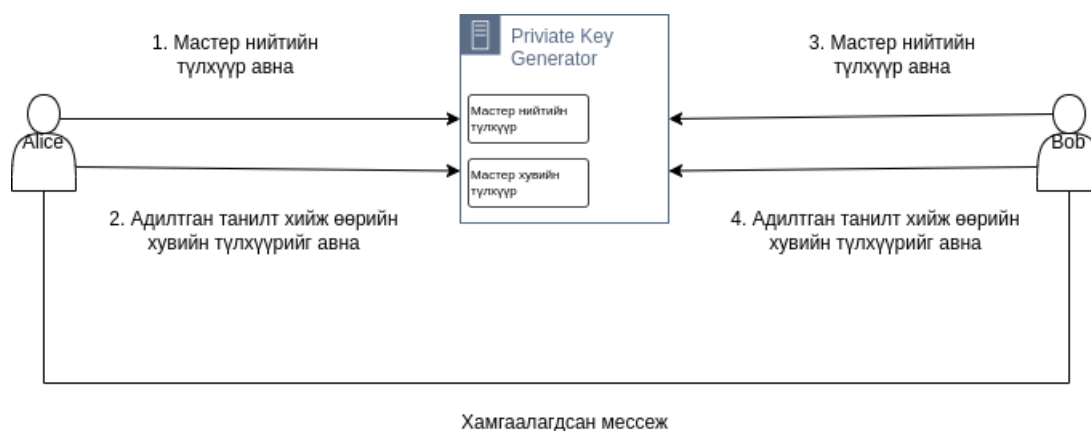
4. Аюулгүй бизнесийн харилцааны сувгуудыг ашигла
5. Аюулгүй мэдээлэл хуваалцах талаар ажилчдаа сурга
6. Бодлого, үйл явц, хэрэглүүрээ тогтмол хянаж үзээрэй

1.3 Шифрлэх схемүүд

Танилтад суурилсан шифрлэлт (IBE)

Тэмдэгт мөр зэрэг мэдэгдэж буй утгаас нийтийн түлхүүр үүсгэх боломжийг олгодог. Итгэмжлэгдсэн гуравдагч тал түлхүүрүүдийг үүсгэж өгдөг(PKG). Хувийн түлхүүр үүсгэгч (PKG) итгэмжлэгдсэн гуравдагч тал холбогдох хувийн түлхүүрүүдийг үүсгэдэг. PKG эхлээд мастер нийтийн түлхүүрийг нийлтэй тавьж, мастер хувийн түлхүүрийг хадгална. Аль ч тал мастер нийтийн түлхүүр, таних утгыг ашиглан тохирох нийтийн түлхүүрийг гаргаж авах боломжтой. Харгалзах хувийн түлхүүрийг авахын тулд мастер түлхүүрээр гаргаж авсан таних түлхүүрийг ашиглана. [WikiIBE]

1. Бэлтгэл үе: PKG нь өөрийн мастер түлхүүрүүдийг үүсгэнэ.
2. Алис нийтийн мастер түлхүүрийг авна. Өөрийн хувийн түлхүүрыг авна.
3. Боб-ийн имэйл гэх мэт өвөрмөц мэдээллээр Боб-ын нийтийн түлхүүрийг авч шифрлэлт хийн явуулна.
4. Боб PKG-ээс өөрийн хувийн түлхүүрийг авч шифрийг тайлж авна.



ЗУРАГ 1.1: Танилтад суурилсан шифрлэлт

IBE-дээр суурилсан алгоритмууд

- Boneh–Franklin (BF-IBE)
- Sakai–Kasahara (SK-IBE)
- Boneh–Boyen (BB-IBE)

Давуу талууд

Сул талууд

Шинж чанарт суурилсан шифрлэлт (ABE)

IBE-тэй ерөнхийдөө төстэй. Шинж чанаруудаар бүлэглэж зөвхөн нэг хэрлэгчийн түлхүүр ашиглахгүй олон хүн тайлах боломжтой. Үндсэн хоёр төрөлтэй. Түлхүүр-Дүрэмийн шинж чанарт суурилсан шифрлэлт (KP-ABE) болон Шифртескт-Дүрэмийн шинж чанарт суурилсан шифрлэлт (CP-ABE).

ABE ерөнхий санаа нь сайн боловч сул талуудтай.

- Түлхүүр зохицуулалт
- Түлхүүр хадгалах
- Түлхүүр хүчингүй болгох

Гомоморф шифрлэлт (HE)

Энэ нь шифрлэгдсэн өгөгдлийг тайлахгүйгээр тооцоолол хийх боломжийг олгодог шифрлэлтийн төрөл юм.

- Хэсэгчилсэн гомоморф шифрлэлт нь зөвхөн нэг төрлийн хаалга дэмждэг схемүүдийг хамардаг, жишээ нь нэмэх эсвэл үржүүлэх.
- Зарим төрлийн гомоморф шифрлэлтийн схемүүд нь хоёр төрлийн хаалгыг үнэлж чаддаг, гэхдээ зөвхөн хэлхээний дэд бүлэгт зориулагдсан.
- Түвшинтэй бүрэн гомоморф шифрлэлт нь хязгаарлагдмал (урьдчилан тодорхойлсон) гүнтэй олон төрлийн хаалганаас бүрдэх дурын хэлхээний үнэлгээг дэмждэг.
- Бүрэн гомоморф шифрлэлт (FHE) нь хязгааргүй гүнтэй олон төрлийн хаалганаас бүрдсэн дурын хэлхээг үнэлэх боломжийг олгодог бөгөөд гомоморф шифрлэлтийн хамгийн хүчтэй ойлголт юм.

1.4 Файл шифрлэх хадгалах

Файлыг тэгш хэмт болон тэгч бус шифрлэлтээр аль алингаар нь шифрлдэг. Тэгш хэмт шифрлэлт нь тэгш бус хэмт шифрлэлтээс хувьд хурдан боловч түлхүүр дамжуулах зэрэгт асуудал үүсдэг.

Файл системийн түвшинд шифрлэлтийг файлд суурилсан шифрлэлт (FBE) эсвэл файл/хавтас шифрлэлт гэдэг нэрлдэг дискний шифрлэлтийн нэг төрөл юм.

Файл системийн шифрлэлтийн төрөл

- Криптограф файлын систем
- Ерөнхий зориулалт бүхий файлын шифрлэлт системүүд

Давуу талууд

- Файлд суурилсан уян хатан түлхүүрийн удирдлага гэдэг нь файл бүрийг тусдаа түлхүүрээр шифрлэх боломжтой.
- Шифрлэгдсэн файлын тус тусд нь удирдах нь шифрлэгдсэн файлыг бүхэлд нь засаж өөрчлөхийн оронд зөвхөн өөрчлөгдсөн хэсгийг л өөрчлөх боломжтой.
- Хандалтын нийтийн түлрүүр ашиглах хянах боломжтой.

Криптограф файлын систем

Криптограф файлын системүүд нь шифрлэлт, аюулгүй байдлын үүднээс тусгайлан бүтээгдсэн (ерөнхий зориулалтын бус) файлын системүүд юм. Тэд ихэвчлэн мета өгөгдлийг оруулаад агуулсан бүх өгөгдлийг шифрлэдэг. Диск дээрх формат болон өөрийн блокийн хуваарилалт хийдэггүй одоо байгаа файлын системүүдийн дээр байрладаг.

Ерөнхий зориулалт бүхий файлын шифрлэлт системүүд

Криптограф файлын систем болон бүрэн дискний шифрлэлтээс ялгаатай нь файлын системийн түвшинд шифрлэлт хийдэг ерөнхий зориулалтын файлын системүүд юм. Файлын нэр, хэмжээ, өөрчлөлтийн цагийн тэмдэг гэх мэт файлын системийн мета өгөгдлийг ихэвчлэн шифрлэдэггүй.

1.5 Бүлгийн Дүгнэлт

Өгөгдөл хуваалцах болон өгөгдөлийн аюулгүй байдлын судалсан. Орчин үеийн шифрлэлтийн схемүүдийн судлаж прокси дахин шифрлэх.

БҮЛЭГ 2

Прокси дахин шифрлэлтэд суурилсан
файл хуваалцах систем

2.1 Прокси дахин шифрлэлт

Прокси дахин шифрлэлт нь нийтийн түлхүүрээр шифрлсэн өгөгдөлийг дахин шифрлэж өөр хувийн түлхүүрээр тайлах боломжийг олгодог.

Мамбо болон Окамото шифрийг тайлан дараа нь шифрлэх уламжлалт аргыг сайжруулах зорилгоор анх гаргаж ирсэн.

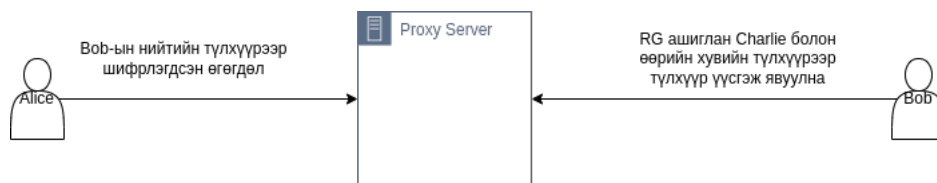
1998 онд Blaze, Bleumer, Strauss (BBS) нар "atomic proxy cryptography" гэсэн ойлголтыг санал болгосон бөгөөд үүнд хагас итгэмжлэгдсэн прокси нь үндсэн энгийн текстийг харалгүйгээр Алисын шифрийг Бобын шифр текст болгон хувиргадаг. El Gamel дээр суурилсан схем ба прокси буюу гуравдагч талийн тусламжтайгаар шифрийг дамжуулах зорилготой.

Үндсэн хоёр төрөлтэй.

- Нэг чиглэлт (Unidirectional PRE)
- Хоёр чиглэлт (Bidirectional PRE)

Нэг чиглэлт PRE (KE, RG, E, R, D) хэсгүүдээс тогтоно.

1. Алис, Боб болон Чарли хувийн болон нийтийн түлхүүрийг үүсгэнэ. (KE)
2. Алис Боб-д зориулж өгөгдлөө шифрлэж серверт байршуулна.
3. Боб Алис-ын өгөгдлийг Чарли-тай хуваацлахын тулд $RE(pk_B, sk_B, pk_C, sk_C)$ шифрлэж серверт байршуулна. Чарлигийн хувийн заавал шаардахгүй үүсгэж болно.
4. Боб RE-г ашиглаж үүсэгсэн түлхүүрийг серверт явуулж Алисын файлыг дахин шифрлэж Чарли тайлах боломжтой болно.



ЗУРАГ 2.1: Proxy Re-encryption scheme

Давуу талууд:

- Нууцлалыг сайжруулна: PRE нь оролцогч талуудын хувийн мэдээллийг задруулахгүйгээр өгөгдлийг хуваалцахыг зөвшөөрснөөр нууцлалыг сайжруулахад тусална. Энэ нь талууд нууцаар эсвэл хувийн нууц мэдээллийг задруулахгүйгээр мэдээллээ хуваалцахыг хүссэн тохиолдолд хэрэг болно.
- Нарийн төвөгтэй байдлыг багасгасан: PRE нь итгэмжлэгдсэн гуравдагч этгээдэд шифрлэлт болон шифрийг тайлах үйл явцыг удирдах боломжийг олгосноор шифрлэлт болон түлхүүрийн удирдлагын нарийн төвөгтэй байдлыг багасгахад тусална. Энэ нь ялангуяа олон талын оролцоотой, гол менежмент нь төвөгтэй, удирдахад хэцүү болж болзошгүй тохиолдолд хэрэг болно.

Сул талууд:

- Проксид итгэх: PRE нь дахин шифрлэлтийг гүйцэтгэхэд гуравдагч талын прокси дээр тулгуурладаг ба схемийн аюулгүй байдал нь прокси талаас хамаарна.

- Хязгаарлагдмал өргөтгөх чадвар: PRE нь өргөтгөх чадварын хувьд хязгаарлагдмал байж болно. Учир нь хэрэглэгчдийн тоо нэмэгдэхийн хэрээр олон талыг дэмжихэд шаардлагатай дахин шифрлэлтийн түлхүүрүүдийн тоо хурдацтай өсөх болно. Энэ нь гол менежментийг төвөгтэй болгож, удирдахад хэцүү болгодог.
- Potential for replay attacks: PRE нь халдагч хариуг зогсоож хандах эрхийг өөрт ашигтай солих боломжтой.
- Хүчингүй болгоход хүндрэлтэй байдал: PRE дахь өгөгдөлд хандах эрхийг цуцлах нь ялангуяа олон тал оролцсон тохиолдолд хэцүү байж болно. Хэрэв аль нэг талын дахин шифрлэлтийн түлхүүр алдагдсан бол бусад талуудын мэдээлэлд хандах эрхэд нөлөөлөхгүйгээр өгөгдөлд хандах эрхийг цуцлах нь хэцүү байж болно.
- Хязгаарлагдмал хэрэглээ: PRE нь харьцангуй шинэ бөгөөд шинээр гарч ирж буй технологи хэвээр байгаа бөгөөд илүү уламжлалт шифрлэлтийн схемүүдтэй харьцуулахад хэрэглээ нь хязгаарлагдмал байдаг. Энэ нь технологийг хэрэгжүүлэх, удирдах туршлагатай мэргэжилтнүүд бага байдаг.

2.2 Хөгжүүлэх технологи, хэл сонгох

Прокси дахин шифрлэлт файл хуваалцах системийг хөгжүүлэхэд ашиглах технологийн судалаа хийсэн. Систем хоёр хэсгээс тогтох ба. API сервер болон хэрлэгч талын программ. Пайтон маш олон нэмэлт бичиглэл хялбар олон давуу талтай тул пайтон хэлийг сонгосон. Үүнд:

- Flask
Пайтон хэл дээр бичсэн веб хөгжүүлэхэд зориулагдсан фреймворк юм. Хөнгөхөн олон сан шаардахгүй. Сурахад хялбар өөрийн хүссэн загвараар загварчилж хийх боломжтой. RESTful API гаргахад хялбар. Хэрэгтэй гэвэл нэмэлт сан ORM зэрэг өөр сангууд суулгаж хамт ашиглах боломжтой.
- Tkinter
Хэрэглэгчийн интерфейс (GUI) үүсгэхэд ашигладаг Python номын сан юм. Tcl/Tk GUI дээр суурилсан. Линукс виндовс зэрэг олон үйлдлийн системийг дэмждэг. Нэмэлт сангуудтай ажиллах боломжтой.
- pyUmbral
Прокси дахин шифрлэлтийг файтон дээр хэрэгжүүлсэн пайтоны сан юм. OpenSSL болон Cryptography.io ашигласан.
- Google Cloud Platform
Хийсэн API сервер deploy хийж байршуулна. Google Cloud нь маш олон давуу талтай ба үнэгүй туршиж үзэх 300 долларын эрхтэй тул сонгосон.

2.3 Хөгжүүлэлтийн орчин бэлдэх

Пайтон хэл нь орчин бүрдүүлэхэд хялбар ба виртуал орчин үүсгэж хэрэгтэй сангуудийг татаж суулгах боломжтой. Бүх линукс тархацад пайтон хэл нь сууцан байдаг тул хэрэгтэй сангуудийг татаж суулгахад л хангалтай.

Прокси дахин шифрлэлт сан пайтон дээр сан бичих гэж оролдсон. JHU-MTI Прокси дахин шифрлэлтын сан нь C/C++ хэл дээр бичигдсэн байсан. Пайтон хэлний `setuptools` болон C хэлний `"python.h"` санг ашиглан пайтоны сан бичих гэж оролдож үзсэн. JHU-MTI сан нь MIRCL санг ашигладаг. **Ерөнхий бүтэц**

```
.
├── example
│   └── example.py
├── external
│   ├── miracl
│   └── proxylib
├── LICENSE
├── README.md
├── setup.py
├── src
│   └── pyprc.cpp
└── userguide.pdf
```

2.4 Бүлгийн дүгнэлт

Прокси дахин шифрлэлт судлаж системийг хөгжүүлэлтэнд шаардлагатай технологиуд сангуудыг судлаж хөгжүүлэлт хийж эхэлсэн.