

초거대 그래프의 지능적 고속 처리를 위한 그래프 DBMS 기술 개발

개요

1 추진 배경

- 사회 관계망, 인터넷 웹, 지식 그래프, 금융 거래 그래프, 비즈니스 플로우, 프로그램 소스코드 구조 등 다양한 그래프 형상의 데이터들이 나타나고 거대화 됨에 따라 신속한 저장 및 처리 기술이 필요
- 지능형 그래프 통합 DBMS(GDBMS)는 클라우드 기반의 분산 머신들을 활용하여 거대 그래프의 효율적인 저장, 분석 및 기계학습을 통합 지원함으로써 빅데이터 및 인공지능 기반 비즈니스 경쟁력을 향상할 수 있는 시스템임

2 필요성

GDBMS?

- 클라우드 기반의 분산 머신들을 활용하여 거대 그래프의 **효율적인 저장, 분석 및 기계학습을 통합 지원**
- 빅데이터 및 인공지능 기반 비즈니스 경쟁력을 향상할 수 있는 시스템

GDBMS 응용

- 신약 개발, 뇌 질환 감지 등의 의료 분야, 금융, 통신, 물류

Financial Services



Drug Discovery



Recommendations



Customer Segmentation



Cybersecurity



GDBMS 시장 전망

※Allied Market Research, 2020년 5월

구분	(2021년)	(2025년) 개발 종료 후 1년	(2027년) 개발 종료 후 3년
세계 시장규모	\$1.26B	\$3.02B	\$4.68B
한국 시장규모	140억 원	500억 원	770억 원

3 연구개발기관

주관연구개발기관

POSTECH
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

공동연구개발기관

CUBRID

KHU

XNU
강원대학교

KOSSA

DBMS 개발 최고 경력자들로 팀 구성

한옥신 교수

- IBM DB2의 병렬 점진적 질의 최적화 구현
- 거대 그래프분석 엔진 개발 경험

문양세 교수

- 오디세우스 DBMS 저장/색인 관리자 개발
- 빅데이터 분석 분산처리 플랫폼 개발 및 활용 경험

이영구 교수

- RDBMS 저장 엔진 및 리커버리 기술 개발
- 클라우드 기반 지능형 비디오 분석 플랫폼 개발

큐브리드

- 알티베이스, 티베로와 더불어 국내 3대 DBMS 기업
- 국가정보관리원, 국방데이터센터 등의 다수 클라우드 고객 보유



풍부한 공개 SW 비즈니스 경험 및 표준화 활동

포스텍 (한옥신 교수)

- 국제 그래프 질의 언어 표준화(LDBC GQL) 활동 (국내 유일)

큐브리드

- 공개SW CUBRID 개발(2008~) 및 비즈니스 경험 보유
- 국내 22만여건, 해외 10만여건의 다운로드 기록

한국공개SW협회

- 공공/민간 대상의 공개SW 도입 컨설팅 (120여개 회원사)
- SW중심대학 등과 공개SW 인재육성 협약 체결 및 연구협력(29개 이상)

그래프 및 DBMS 연구 선도

Very
Large
Data
Bases

ACM SIGMOD



포스텍 (한옥신 교수)

- 그래프 분야 세계 최고 기술력 발표: 최근 3년간 SIGMOD/VLDB 10편 발표(경쟁회사 Neo4j 3편)
- 그래프 패턴 매칭 및 멀티 웨이 조인 최고 기술력 보유(TurboISO/TurboHOM/DP-ISO)
- 고성능 분산 그래프 분석 엔진(TurboGraph++, SIGMOD 2018) 코드 및 핵심 개발자 보유

4 추진 현황

1차년도
(2021년)

- 고속 및 저지연 입출력을 위한 분산 클라우드 기반의 네이티브 그래프 저장 기술
- 분산 클라우드 환경에서 고속의 그래프 분석 및 기계학습을 지원하기 위해 고속 및 저지연 RDMA 네트워크 기술에 기반하여 네트워크와 연산을 중첩하는 소프트웨어 기술 개발

2차년도
(2022년)

- 지능적 그래프 분석을 위한 그래프 분석 및 기계학습을 지원하는 통합 그래프 분산 처리 시스템 아키텍처 개발
- 거대 그래프에 대한 분산 그래프 신경망 학습 및 추론 시스템 개발
- 시간에 따라 변화하는 거대 그래프 데이터의 효율적인 분석을 위한 자동화된 점진적 처리 기술 개발

3차년도
(2023년)

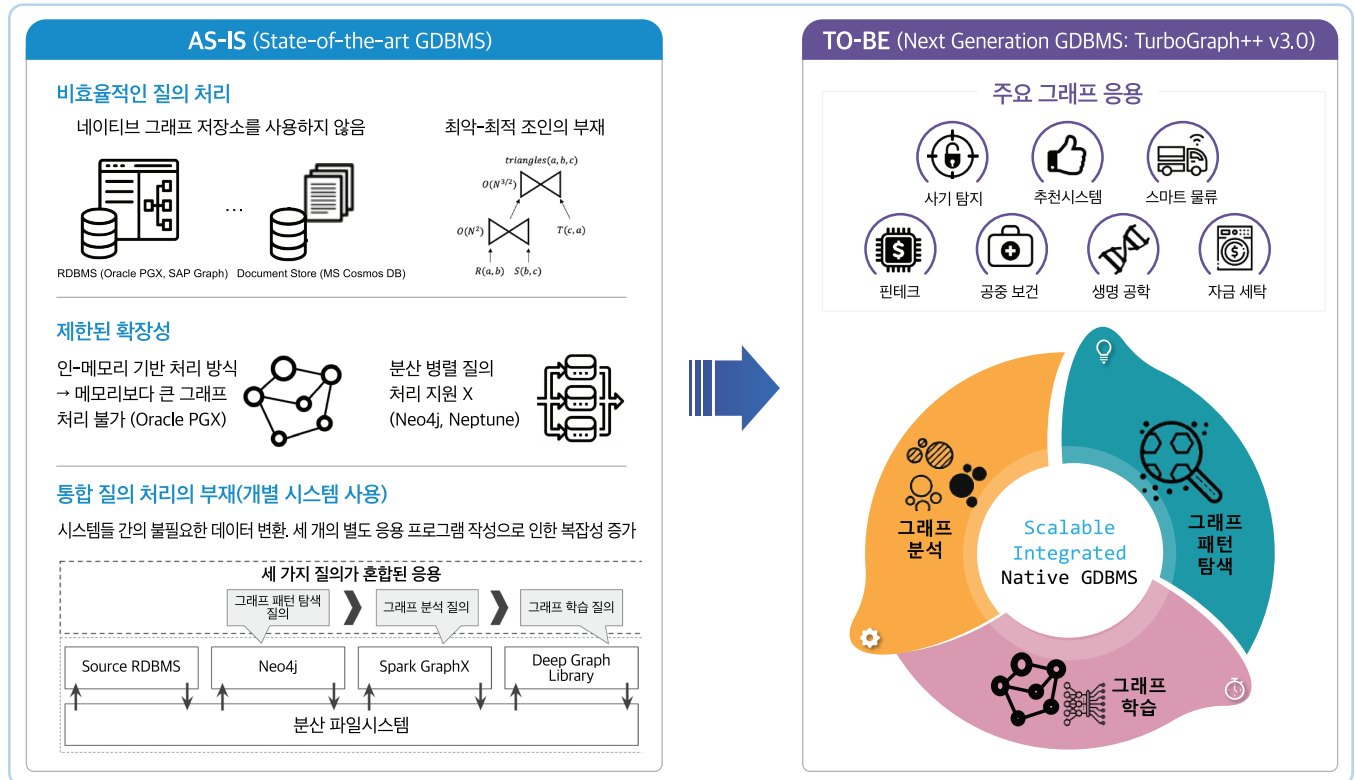
- 저비용/고효율의 분산 클라우드 서비스를 위한 소프트웨어 기술 개발

4차년도
(2024년)

- 추천 서비스 분야와 지식 그래프 임베딩 분야를 대상으로 클라우드 기반의 지능적 그래프 분석 통합 시스템의 실증
- 거대 그래프 분석 결과의 실시간 시각화 기술 개발

1 기술 개요

세 가지 주요 그래프 질의인 그래프 패턴 탐색, 그래프 분석, 그래프 학습 질의가 혼합된 지능적 그래프 응용을 하나의 시스템 상에서 개발 가능하며, 초거대 그래프에 대해 확장성있고 효율적인 고속 질의 처리 기능을 제공하는 클라우드 기반의 분산 그래프 DBMS(GDBMS) 기술



2 개발 목표

- 최신 상용 GDBMS 에 비교하여, 100배 이상 빠른 성능 개선
- 스키마가 없는 데이터에 대해 유연하면서도 매우 빠른 연산을 지원
- 그래프 질의를 잘 지원하는 것 뿐만 아니라 TPC-H, TPC-DS와 같은 관계형 질의에 대해서도 최신 RDBMS와 비견되거나 훨씬 능가하는 다양한 분석 워크로드를 처리 가능한 다재다능한 DBMS 개발

3 차별성

효율적인 질의 처리
네이티브 그래프 저장소를 지원
최악-최적 조인을 지원
질의 최적화 시 다중 조인 알고리즘과 이진 조인 알고리즘을 함께 활용
확장성 보장
디스크 기반 처리 방식 지원
분산 병렬 질의 처리 지원
분산 클라우드 환경에서 고속 RDMA 네트워크 기술을 활용
세 가지 질의로 구성된 통합 질의 처리 지원
데이터 변환이 필요 없는 하나의 통합 프레임워크 제공
세 가지 질의를 하나의 응용 프로그램으로 작성

4 핵심기술

■ 핵심 기술 1: 거대 그래프 탐색/분석

- 확장성 있는 탐색/분석 기술, 최악-최적 질의 플랜 생성 및 최적화 기술, 자동 점진적 질의 처리 기술

■ 핵심 기술 2: 거대 프로퍼티 그래프 관리

- 네이티브 그래프 저장 기술, 자연 갱신 기반의 동적 그래프 지원 기술, 저비용 고효율 가변길이 버퍼 관리 기술

■ 핵심 기술 3: 거대 그래프 학습 및 추론

- 확장성 있는 학습 및 추론 기술, 점진적 그래프 학습 기술, 중간/임시 결과 재사용을 통한 그래프 학습 기술

■ 핵심 기술 4: 하드웨어 가속 기술

- GPU 및 고속 RDMA 네트워크 기반 가속화 기술

핵심 기술 1

▶ 거대 그래프 질의 컴파일러 및 질의 처리 기술

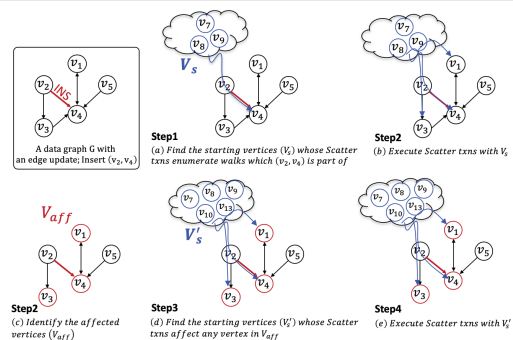
- 최악-최적 조인을 고려한 질의 비용 모델 설계, 이중 조인과 다중 조인을 모두 고려하는 조인 열거 기술 개발
→ 불필요한 중간 결과물을 생성하지 않아 주요 그래프 질의에서의 성능 향상
- 분산, 디스크 기반의 그래프 특화 핵심 질의 연산자 설계 및 개발. 그래프 변화로부터 영향을 받는 기존 질의 결과 부분을 탐색 및 부분적으로 갱신하는 점진적 처리 기능 개발 → 거대 그래프를 처리함에 있어 확장성 및 성능을 동시에 확보. 동적으로 그래프가 변하는 환경에서도 빠른 질의 처리 성능 지원

R		S		T	
a	b	b	c	c	a
1	2	2	3	3	1
3	2	2	4	5	3
3	4	2	6	5	3
3	6	2	9	8	1
3	8	5	7	8	3

R ⋈ S			R ⋈ S ⋈ T		
a	b	c	a	b	c
1	2	3	1	2	3
1	2	4	1	2	6
1	2	9	1	2	9
3	2	3	3	2	3
3	2	4	3	2	4
3	2	6	3	2	6
3	2	9	3	2	9

최악-최적 조인을 고려하지 않으면 주요 그래프 질의에서 성능 저하가 큼

[전통적인 이진 조인의 한계]

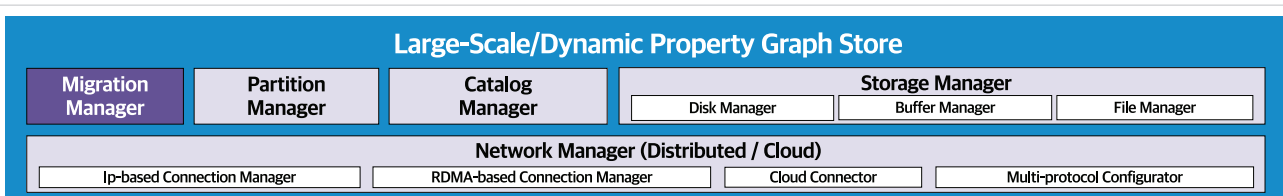


[점진적 질의 처리 과정]

핵심 기술 2

▶ 거대 프로퍼티 그래프 저장 / 분할 기술

- 프로퍼티 그래프, 그래프 질의의 특성을 고려하여 액세스 로컬리티를 극대화하는 그래프 네이티브 저장 자료구조 개발 → 유연한 스키마를 가질 수 있는 그래프 자료구조의 장점을 유지하면서도 스키마 없는 데이터에 대한 빠른 연산을 제공
- 기존 버퍼 관리자의 오버헤드를 제거하면서도 버퍼 캐시 적중률을 보존하는 버퍼 관리자 기술 개발 → 인-메모리 처리 기반 대비 디스크 기반 처리의 오버헤드 감소
- 빠른 분석을 위한 고속 벌크로더 개발
 - SIMD 연산을 활용한 입력 데이터의 고속 파싱 기술 및 데이터 압축 기술 적용
 - Neo4J에 비하여 정점 벌크 로딩 속도가 평균 127.15배 빠름 (LDBC scale factor 100 기준)

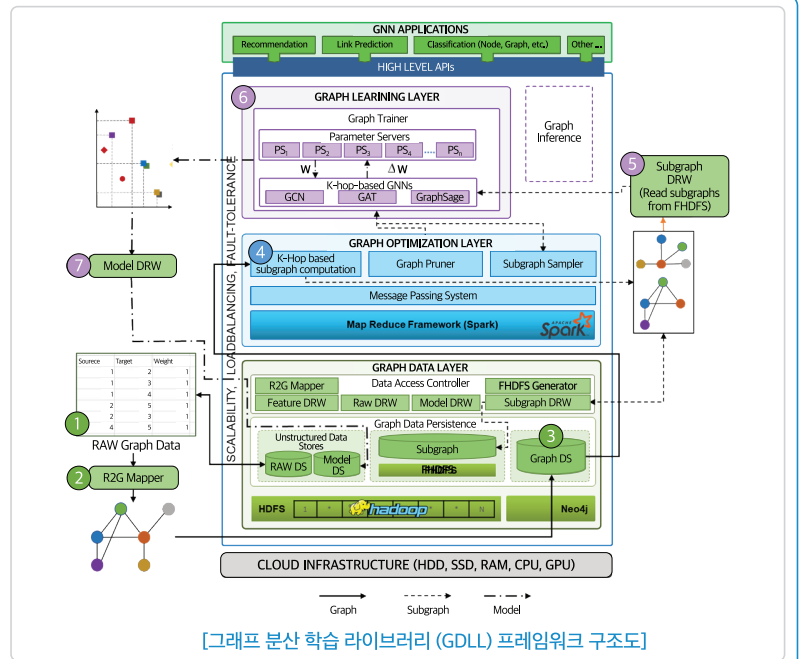


[거대 동적 그래프 저장소 아키텍처]

핵심 기술 3

▶ 거대 그래프 학습 및 추론 기술

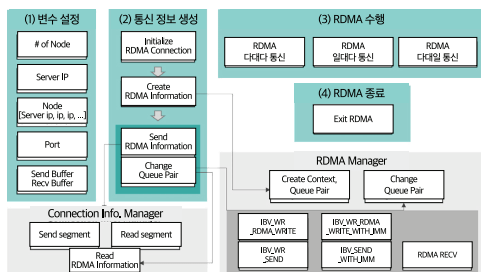
- 거대 그래프 신경망 학습/추론을 위한 그래프 분할, 특징점 추출, 샘플링 등을 포함한 그래프 처리 모듈 및 분산 그래프 임베딩 기술 개발
- 그래프 학습 중간 결과 캐싱 및 과거 계산 결과를 활용한 효율적인 학습 처리, 연산 비용 예측 기반의 스케줄링 기술을 통한 거대 그래프 학습 고속화



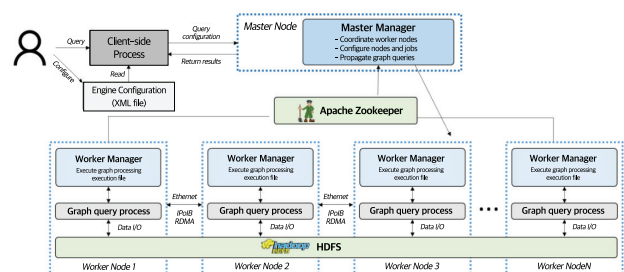
핵심 기술 4

▶ 하드웨어 가속 기술

- GPU를 활용한 그래프 신경망 학습/추론의 고속 병렬 처리 기술 개발
- 인피니밴드 IPoIB/RDMA 기술을 접목한 고속 네트워크 매니저 설계 및 개발. 다양한 환경을 지원 가능하도록 RoCE (RDMA over Converged Ethernet) 등의 특수 프로토콜 지원 기능 개발



[고속 분산 네트워크에서 빅데이터 처리를 위한 RDMA 라이브러리 구조]

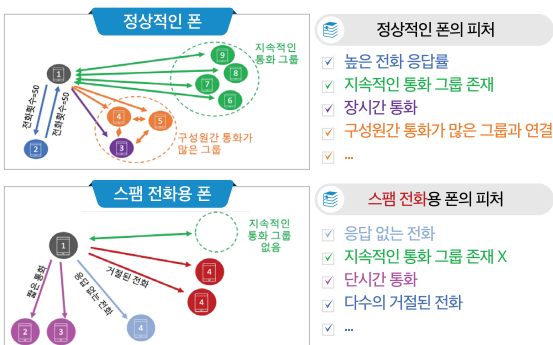


[RDMA/Pregel 기반 그래프 처리 엔진 구조도]

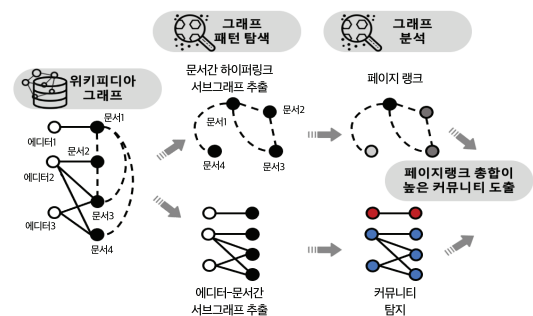
5 기술 적용 시나리오

응용 시나리오
- 스팸 전화용 폰 탐지

그래프 패턴 탐색/분석을 통해 추출한 피처를
활용하여 스팸 전화용 폰을 탐지!



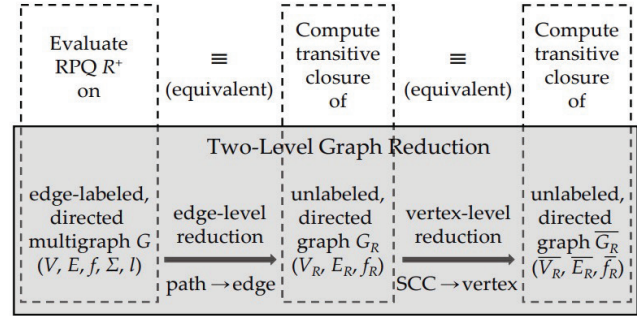
응용 시나리오
- 영향력이 높은 문서를 작성하는 커뮤니티 추출



주요 성과

1. Regular Path Query Evaluation Sharing a Reduced Transitive Closure Based on Graph Reduction (ICDE2022)

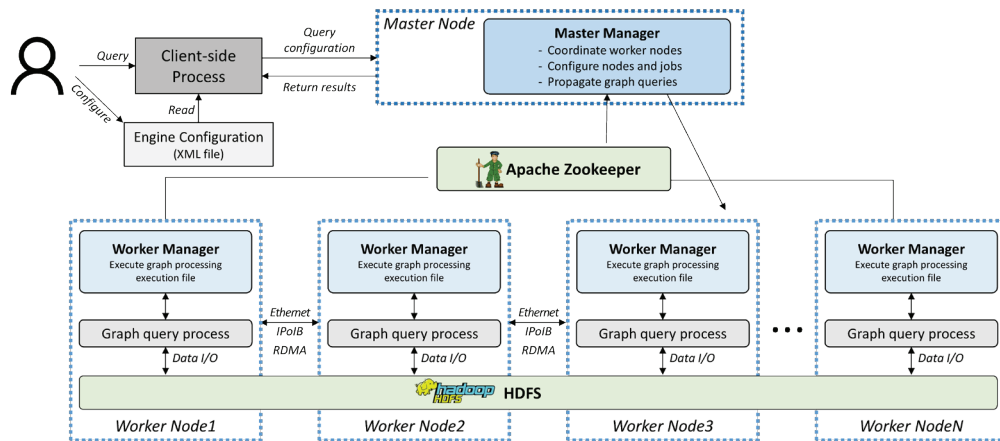
- 그래프 데이터베이스에서 이행적 폐쇄(transitive closure)가 포함된 복잡한 그래프 질의를 그래프 축소(graph reduction)로 처리하는 효율적인 방법을 제시



[An overview of RPQ-based graph reduction]

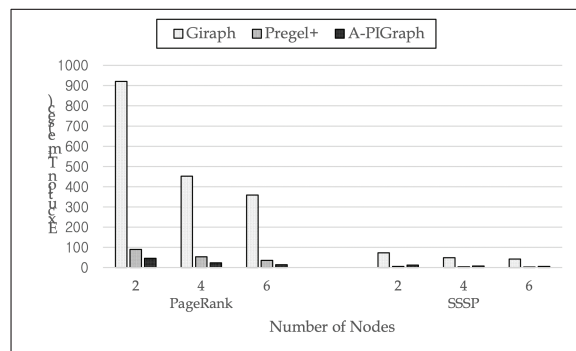
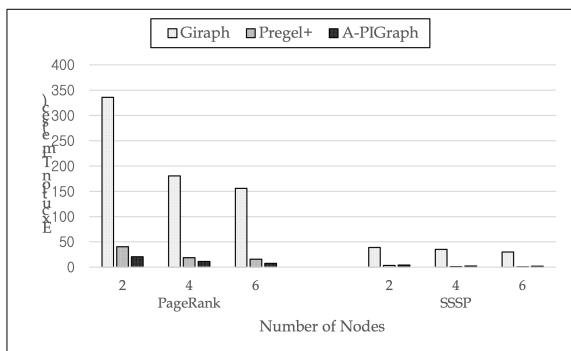
2. 인피니밴드 네트워크에서 분산 병렬 그래프 데이터 처리의 성능 개선 (KCC2022 우수논문)

- 최종 결과물의 클라우드 환경 지원, 안정적인 분산 병렬 처리 구동을 위해 RDMA 지원 그래프 처리 엔진의 확장 방안을 연구



[멀티 프로토콜 지원을 위한 분산 환경 기반 네트워크 매니저 응용 설계도]

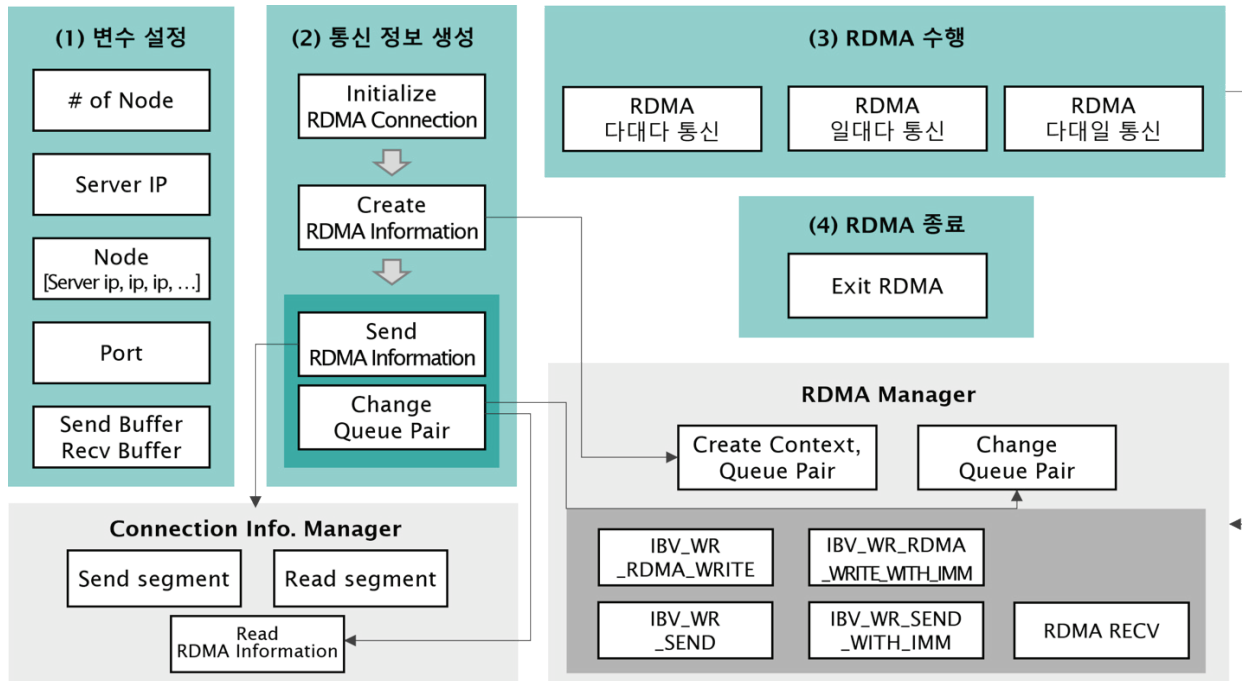
- 실제 구현은 자체 보유한 Intel Xeon 2.4GHz 6 Core, 64GB RAM으로 구성된 서버 6대를 Mellanox SwitchX®-3 MSX6012F-1BFS Managed FDR 56Gbps 인피니밴드 스위치로 연결한 클러스터에서 진행
- 기존 그래프 처리 엔진인 Giraph, Pregel+와 제안 응용 엔진인 A-PIGraph를 비교 평가한 결과, 모든 환경에서 Giraph 대비 많은 성능 향상을 보였으며, Pregel+와 비교해도 SSSP 수행 시는 유사, PageRank에서는 빠른 성능을 보임



[통합 네트워크 매니저 그래프 처리 엔진(A-PIGraph)과 타 시스템의 성능 평가 결과]

3. 효율적인 빅데이터 처리를 위한 고속 분산 클러스터 기반 RDMA 라이브러리 (데이터베이스연구)

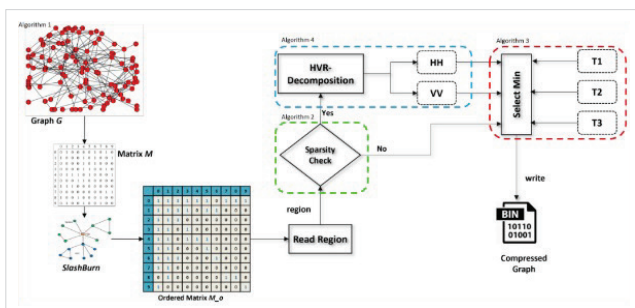
- 분산 클러스터에 최적화된 RDMA(Remote Direct Memory Access) 라이브러리를 제안
- 기존 API를 일반화하여 다수 노드에도 쉽게 적용할 수 있는 새로운 RDMA 라이브러리를 설계 및 구현



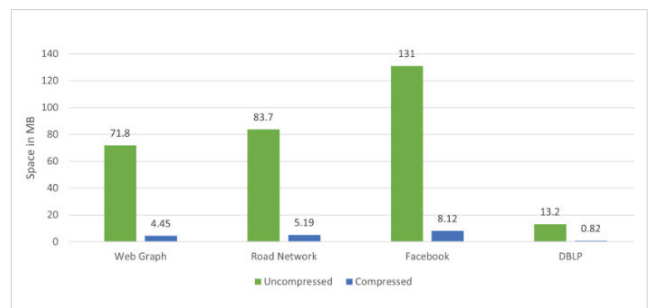
[일반화·경량화된 RDMA 라이브러리 구조도]

4. iRun: Horizontal and Vertical Shape of a Region Based Graph Compression (Sensors, 2022)

- 규모가 크고 밀도가 높은 입력 그래프를 고정크기 하위 행렬 분해(Fixed Size Submatrix Decomposition)를 통한 효율적 그래프 압축 기법을 제시함



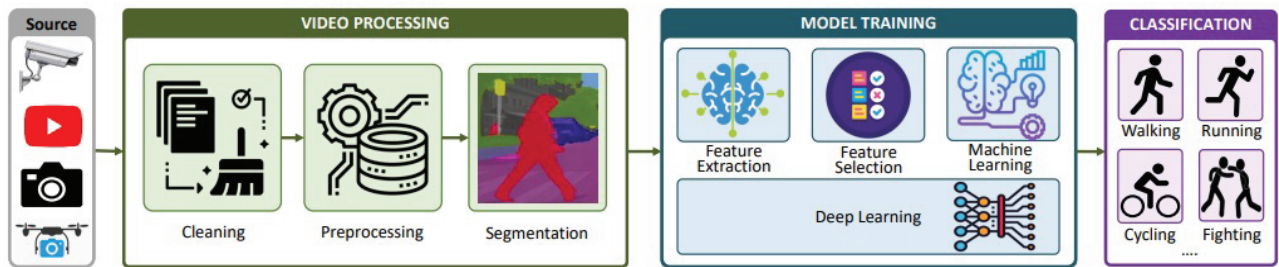
[Detailed architecture of the proposed methodology]



[Uncompressed and compressed data on disk]

5. Human Action Recognition: A Taxonomy based Survey, Updates, and Opportunities (Sensors, 2023)

- 현실의 인간 행동을 인식하기 위한 일반적인 아키텍처와 그래프 패턴을 활용한 인간 행동 인식 모델에 대한 실험을 수행하고 최선의 방법과 딥러닝 및 수작업 기술에 대한 최신 연구를 논의, 인간 활동 인식에 대한 심층 분석을 제안



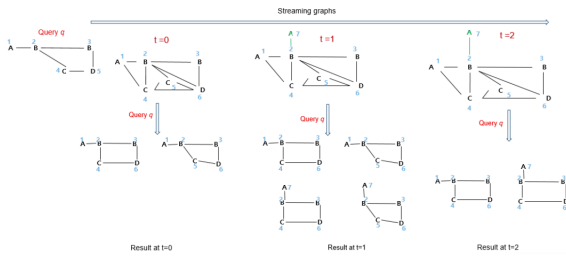
[Human Action Recognition Framework]

Method	Data Type	Dataset	Performance	Source	Year
HyRSM	RGB	UCF101	Acc: 93.0	[175]	2022
GCN	Skeleton	NTU-RGBD	Acc: 96.1	[176]	2022
PYSKL	Skeleton	NTU-RGBD UCF101	Acc: 97.4 Acc: 86.9	[177]	2022
ActionCLIP	RGB+Text	Kinetics	Acc: 83.8	[178]	2021
IMGAUD2VID	RGB+Audio	ActivityNet	Acc: 80.3	[179]	2020
AGCN-LSTM	Skeleton	NTU-RGBD(CS) NTU-RGBD(CV) UCLA	Acc: 89.2 Acc: 95 Acc: 93.3	[180]	2019
Stacked LSTM	Skeleton	SBU Kinect HDM05 CMU	Acc: 90.41 Acc: 97.25 Acc: 81.04	[144]	2016
Stacked LSTM	Skeleton	MSRDailyActivity3D NTU-RGBD (CS) CAD-60	Acc: 91.56 Acc: 64.9 Acc: 67.64	[181]	2018
Stacked LSTM	RGB	HMDB51 UCF101 Hollywood2	Acc: 41.31 Acc: 84.96 MAP: 43.91	[182]	2015
Differential RNN	RGB and Skeleton	MSRAction3D (CV) KTH-1 (CV) KTH-2 (CV)	Acc: 92.03 Acc: 93.96 Acc: 92.12	[138]	2015
TSN	RGB	HMDB51 UCF101	Acc: 69.4 Acc: 94.2	[183]	2016
FCN	RGB	Sports Video	Acc: 97.4	[184]	2019
AGCN	Skeleton	NTU-RGBD (CS) NTU-RGBD (CV) Kinetics Kinetics	Acc: 88.5 Acc: 95.1 Top 5% acc: 58.7 Top 1% acc: 36.1	[44]	2019
Two-stream MiCT	RGB	HMDB51 UCF101	Acc: 70.5 Acc: 94.7	[185]	2018
DBN	Depth	MHAD MIVIA	Acc: 85.8 Acc: 84.7	[186]	2014
GAN	RGB	UCF101 HMDB51	Acc: 47.2 Acc: 14.40	[187]	2018

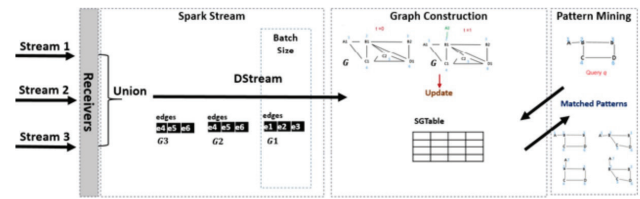
[Hybrid feature based state-of-the-art methods for HAR]

6. Subgraph Matching on Multiple Graph Streams (IEEE BigComp 2022)

- 본 논문은 병렬 그래프 데이터 마이닝 작업중 기존 그래프 수정을 효율적으로 적용하는 데이터 마이닝 기법을 제안



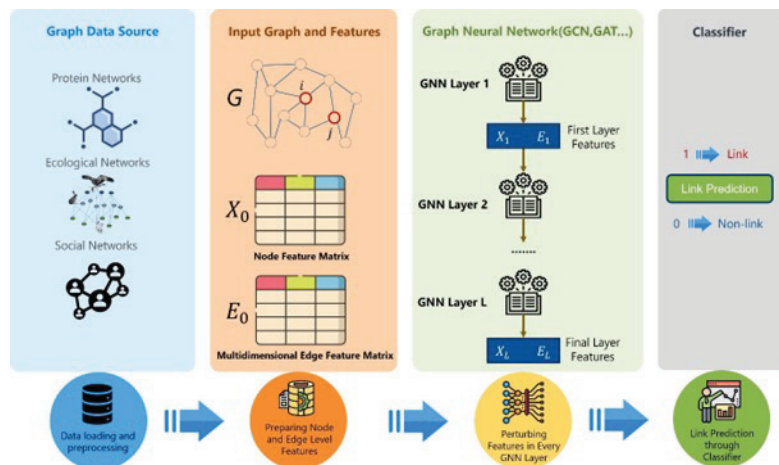
[Streaming graph and query results at each timestamp]



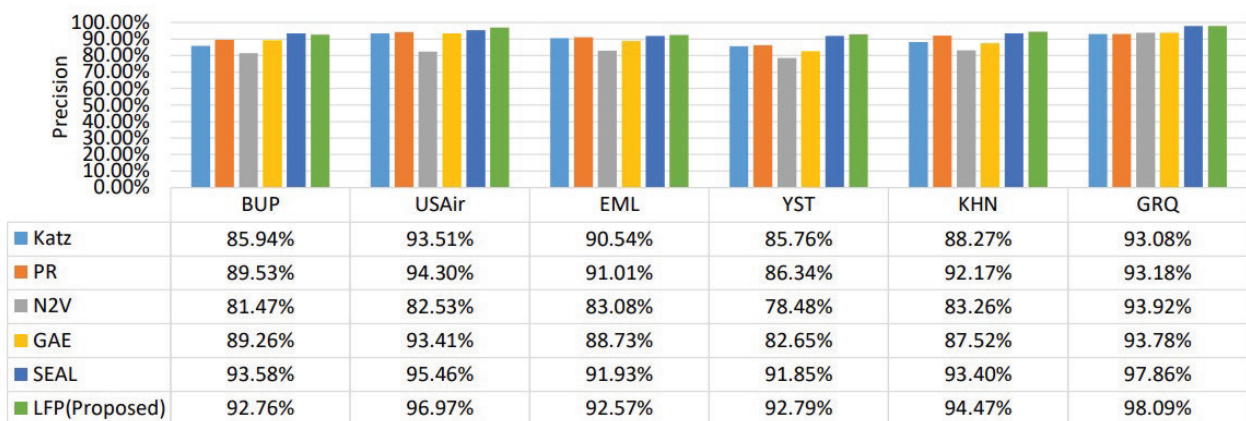
[Overview of Proposed System]

7. LFP: Layer Wise Feature Perturbation based Graph Neural Network for Link Prediction (IEEE BigComp 2023)

- 본 연구에서는 기존 그래프 신경망 모델에 비해 에지 특성을 더 잘 탐색할 수 있는 그래프 신경망 모델을 제안
- GCN과 GAT를 기반으로 선택한 최첨단 접근 방식을 능가하여 그래프 신경망에 에지 속성을 활용

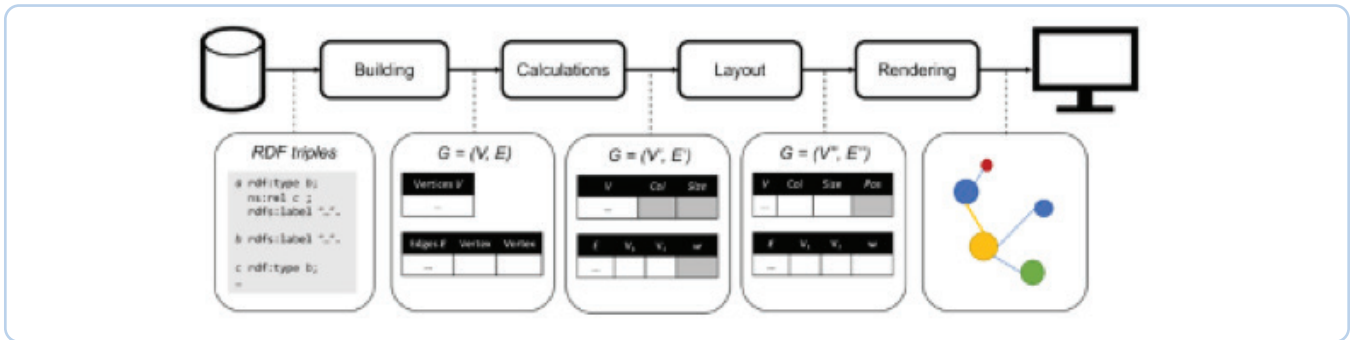


[Proposed LFP architecture]



[Precision comparison with the state of art methods]

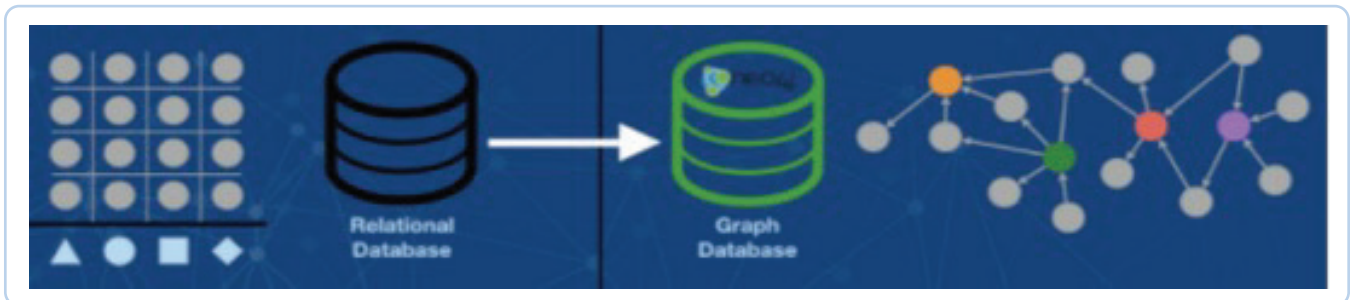
8. 시각화 도구 개발 연구 (ViT : Visualization Tool)



• 주요기능

- 정점과 간선의 시각화
- 정점과 간선의 개별 복수 및 범위 선택
- 신속한 확대와 축소
- 키워드를 통한 정점 및 간선 검색

9. 데이터 이관 도구 개발 연구 (MiT : Migration Tool)



• 주요기능

- RDBMS의 전체 또는 선택한 테이블을 GDBMS이관하거나 GDBMS의 질의 결과를 RDBMS의 특정 테이블로 이관 기능 지원
- RDBMS to GDBMS 이관의 주요 기능
 - 관계 (PK, FK)기반의 자동 모델 변환
 - 변환된 모델 수정
- GDBMS to RDBMS 이관의 주요 기능
 - 질의를 통해 분석된 결과를 RDBMS의 특정 테이블로 이관
- 기타 주요 기능
 - CLI (Command Line Interface) 제공

본 자료는 한국클라우드컴퓨팅연구조합의 기술 이슈 리포트(Tab IR 2022-006)를 참고하여
한국공개소프트웨어협회에서 신규 내용 추가, 수정, 편집을 통해 배포하는 사항입니다.

(기술 이슈 리포트(Tab IR 2022-006) 관련 문의 :

한국클라우드컴퓨팅연구조합연구개발팀 전화 : 02-2052-1263 이메일 : rnd@cccr.or.kr)