

이질적인 지오센서 네트워크 데이터의 효율적인 수집 및 관리를 위한 미들웨어 시스템

A Middleware System for Efficient Acquisition and Management of Heterogeneous Geosensor Networks Data

김민수* 이충호**
Min Soo Kim Chung Ho Lee

요약 최근 센싱정보와 위치정보 그리고 주변의 공간정보를 융합한 지오센서 정보를 원활하게 수집하여 분석할 수 있는 미들웨어에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 미들웨어 개발과 관련하여 지오센서 네트워크 환경에서 공간-센싱정보의 에너지 효율적인 수집을 위한 다양한 방법들이 제안되었으며, 웹에서 공간-센싱정보를 효율적으로 매쉬업 할 수 있는 Geosensor Web 기술도 제안되었다. 공간-센싱정보 수집 방법과 Geosensor Web 기술은 단일 지오센서 네트워크에서의 에너지 효율성과 OpenAPI의 제공에서 기여가 있었으나, 다양한 지오센서 네트워크와 물리적 연결을 필요로 하는 u-GIS 응용시스템의 쉽고 빠른 개발을 지원할 수는 없었다. 이에 본 논문에서는 이질적인 지오센서 네트워크들을 연계하는 u-GIS 시스템의 개발 과정에서 소요되는 시간 및 비용을 크게 감소시킬 수 있는 지오센서 네트워크 미들웨어를 제안하고자 한다. 제안된 미들웨어는 SWE와 확장 SQL 인터페이스를 이용하여 이질적인 지오센서 정보를 수집할 수 있고, 다양한 비교 및 공간 연산을 서버와 In-network 사이에서 최적화하여 수행할 수 있고, 다양한 유형의 센서 네트워크와의 쉽고 빠른 물리적 연결을 지원할 수 있는 장점을 가지고 있다. 끝으로, 온도, 습도, 조도, 속도, 영상, 위치 정보를 수집하는 지오센서를 동시에 연결하고 공간정보와 융합하여 환경정보를 실시간 감시할 수 있는 Prototype을 개발함으로써 제안된 미들웨어의 효용성을 검증하고자 한다.

키워드 : 센서 네트워크 미들웨어, 지오센서 웹, 오픈 API, SWE, u-GIS, USN

Abstract Recently, there has been much interest in the middleware that can smoothly acquire and analyze Geosensor information which includes sensor readings, location, and its surrounding spatial information. In relation to development of the middleware, researchers have proposed various algorithms for energy-efficient information filtering in Geosensor networks and have proposed Geosensor web technologies which can efficiently mash up sensor readings with spatial information on the web, also. The filtering algorithms and Geosensor Web technologies have contributions on energy-efficiency and OpenAPI, however the algorithms and technologies could not support easy and rapid development of u-GIS applications that need various Geosensor networks. Therefore, we propose a new Geosensor network middleware that can dramatically reduce the time and cost required for development of u-GIS applications that integrate heterogeneous Geosensor networks. The proposed middleware has several merits of being capable of acquiring heterogeneous Geosensor information using the standard SWE and an extended SQL, optimally performing various attribute and spatial operators, and easily integrating various Geosensor networks. Finally, we clarify our middleware's distinguished features by developing a prototype that can monitor environmental information in realtime using spatial information and various sensor readings of temperature, humidity, illumination, imagery, and location.

Keywords : Sensor Network Middleware, Geosensor Web, Open API, SWE, u-GIS, USN

† 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(07국토정보C05)에 의해 수행되었음.

* 한국전자통신연구원 공간정보연구팀 책임연구원 minsoo@etri.re.kr

** 한국전자통신연구원 공간정보연구팀 선임연구원 leech@etri.re.kr(교신저자)

1. 서론

센서 및 무선 센서 네트워크 기술의 발전과 더불어 실시간 수집되는 센싱정보를 효율적으로 활용하기 위한 센서 네트워크 미들웨어에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 센서 네트워크 미들웨어 연구에서는 이기종의 센서 네트워크로부터 수집되는 센싱정보를 다양한 USN 응용시스템들이 유연하게 통합할 수 있는 기술개발에 많은 관심을 가져왔다 [6]. 지금까지 센서 네트워크 미들웨어로 Cougar [2], TinyDB [12], COSMOS [9], MiLAN [7], DSWare [11] 등이 발표되었으며, 특히 Cougar, TinyDB, COSMOS는 센서 네트워크를 동적 데이터베이스 테이블로 간주하고 SQL 기반으로 센싱정보 수집을 위한 질의처리 기능도 제공하고 있다.

최근에는 센싱정보에 센서의 위치정보와 주변의 공간정보를 융합하여 분석할 수 있는 지오센서 네트워크 미들웨어 기술에 대한 관심이 크게 증가하고 있다 [16]. 지오센서 네트워크에서 공간-센싱정보의 효율적인 필터링을 위하여 다양한 In-network 기반의 에너지 효율적인 정보 수집 및 질의처리 방법들 [1, 4, 5, 8, 10, 13, 17, 18, 20, 21, 23, 24]이 제안되어 왔으며, 또한 웹 상에서 공간-센싱정보를 융합하고 표준 OpenAPI 기반으로 서비스를 제공하기 위한 Geosensor Web 등의 기술도 개발되어 왔다 [22]. 예를 들어, Microsoft는 Bing Map에 전 세계의 모든 센서들을 융합하여 공간-센싱정보의 융합분석 서비스를 제공하기 위한 SensorMap [15] 기술을 개발하였으며, 사진/동영상과 같은 사용자 참여형 센싱정보를 위치정보 기반으로 Bing Map에 실시간으로 정확하게 매핑하여 증강현실 기반의 맵 서비스를 제공하는 Photosynth 기술도 개발하였다. Google Map은 공간정보와 사용자 참여형 센싱정보를 실시간 매쉬업할 수 있는 기술을 개발하여 OpenAPI 형태로 제공하고 있다.

그러나, 지금까지 제안된 In-network 기반의 센싱정보 필터링 방법은 대부분 단일 지오센서 네트워크에서 에너지 효율성을 높이는데 중점을 둔 단편적인 방법들만을 제시하였으며, Geosensor Web 기술은 웹 상에서 공간정보와 센싱정보를 연계하기 위한 OpenAPI는 제공하지만, 물리적으로 지오센서 네트워크와 연계하는 부분에 대한 해결책을 제시하지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 이질적인 다수

의 지오센서 네트워크들을 물리적으로 직접 연결함으로써 u-GIS 응용시스템들의 개발에 실질적인 도움을 줄 수 있는 지오센서 네트워크 미들웨어를 제안하고자 한다. 제안되는 미들웨어는 이질적인 지오센서 네트워크에 대한 추상화가 가능하며, 공간-센싱정보의 에너지 효율적인 수집 및 관리가 가능하며, 사용자에게 의한 접근성이 뛰어난 장점을 가진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장의 관련 연구에서는 In-network 기반 공간-센싱정보 수집 기술, Geosensor Web 기술, 센서 네트워크 미들웨어 기술의 동향에 대하여 살펴볼 것이다. 3장에서는 본 논문에서 제안되는 지오센서 네트워크 미들웨어의 특징에 대하여 살펴보고, 4장에서는 제안된 미들웨어의 시스템 구성 및 구현 방법을 제시하고, 제안된 미들웨어를 기반으로 응용시스템을 구현하여 그 효율성을 검증할 것이다. 끝으로, 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 In-network 기반 공간-센싱정보 수집 기술

지오센서 네트워크에서 공간-센싱정보를 에너지 효율적으로 필터링하기 위하여 In-network에서 동작 가능한 다양한 분산 공간색인방법들이 제안되어 왔다. R-tree의 공간색인기법을 센서 네트워크에 적용한 Peer-tree [4], SPIX [20], GR-tree [21] 기법, 그리고 Quad-tree 기법을 센서 네트워크에 적용한 DQT [5], DIST [13] 기법들이 제안되어 왔다. 이외에도 공간-센싱정보의 에너지 효율적인 필터링을 위하여 다양한 In-network 기반 공간질의처리 방법들도 제안되어 왔다. Sharifzadeh et al. [18]와 Lee et al. [10]은 In-network 기반 에너지 효율적인 공간 집계질의 처리방법을 제안하였으며, Park et al. [17]과 Kim et al. [8]은 In-network 기반 에너지 효율적인 공간연산 처리방법을 제안하였다.

이러한 방법들은 지오센서 네트워크에서 공간-센싱정보의 수집 및 필터링 과정에서 단편적인 우수성은 보여줄 수 있었으나, u-GIS 응용시스템의 개발과정에서 실질적으로 요구되는 다수의 이질적인 지오센서 네트워크에 대한 추상화, 공간-센싱정보 필터링 방법의 다양화 등 기능적인 요구사항을 만족시키지 못하였다. 이에 본 논문에서는 이질적인 지오센서 네트워크를 쉽고 빠르게 연결하고, 지오센

서 네트워크의 성능에 관계없이 공간연산을 포함한 다양한 필터링 기능을 항상 동일한 수준으로 제공할 수 있는 새로운 미들웨어를 제안하고자 한다.

2.2 웹 기반 공간-센싱정보 융합 및 센서 네트워크 미들웨어 기술

웹 상에서 공간정보와 센싱정보를 융합하여 활용하기 위한 대표적인 플랫폼 기술로서 센서 웹이 있다. 센서 웹은 주변 환경에 설치되어 있는 모든 센서들을 웹으로 연결하여 시설물, 환경, 교통, 재난재해 등을 손쉽게 모니터링 할 수 있는 기술을 의미한다. OGC(Open Geospatial Consortium)는 이러한 센서 웹 플랫폼을 위한 표준으로 SWE(Sensor Web Enablement) [3] 사양을 제시하였다. SWE에서는 웹에서 센서를 발견하고, 센서로부터 데이터를 획득하고, 센싱 데이터에 대한 이벤트를 처리하는 등의 작업을 수행하는 세부 표준사양으로 SOS (Sensor Observation Services) [14], SPS(Sensor Planning Services) [19], WNS(Web Notification Services) 등을 제시하고 있다. Microsoft는 전 세계에 존재하는 모든 센서들을 웹 상에서 연계하기 위한 SenseWeb 기술을 개발하였으며, SenseWeb의 센싱 데이터와 Bing Map의 맵 인터페이스를 매쉬업 시킨 SensorMap [15]을 개발하였다.

웹 상에서 SOS, SPS, WNS를 이용하여 센싱정보를 제공하기 위해서는 물리적으로 센서 네트워크에 접속하여 사용자가 원하는 센싱정보를 효율적으로 수집할 수 있는 미들웨어 기술이 필요하게 된다. 이러한 센서 네트워크 미들웨어로서 Cougar [2], TinyDB [12], COSMOS [9], MiLAN [7], DSWare [11] 등이 발표되어 왔다. 이들은 센싱정보를 수집하는데 있어서의 다양성 및 정확성을 지원하고 센서 네트워크의 에너지 효율성을 높이는데 주력하였다 [25]. 예를 들어, Cougar, TinyDB, COSMOS는 SQL을 지원함으로써 센싱정보 수집에서의 다양성을 지원하였으며, DSWare는 이벤트 기반의 센싱정보 수집방법을 제공하였으며, MiLAN은 센싱정보에 대한 QoS를 보장하였다. 그러나, 이러한 센서 네트워크 미들웨어는 이질적인 다수 센서 네트워크의 효율적인 관리 및 공간-센싱정보가 융합된 지오센서 정보 처리를 수행할 수 없는 문제점을 가지고 있었다. 이에 본 논문에서는 다수 센서 네트워크에 대한 이질성을 극복하고, 공간-센싱 융합정보를 최

적화된 방법으로 수집할 수 있는 새로운 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템을 제안하고자 한다.

3. 지오센서 네트워크 미들웨어의 설계

본 장에서는 이질적인 다수의 지오센서 네트워크를 이용하여 다양한 u-GIS 응용 시스템을 개발하는데 실질적인 도움을 줄 수 있는 지오센서 네트워크 미들웨어의 설계 시에 고려해야 할 중요한 기능들을 제시하고 있다.

- 이질적인 지오센서 네트워크에 대하여 다양한 사용자 요구를 반영할 수 있는 표준화되고 추상화된 확장 SQL 기반의 지오센서 정보 수집 방법
- 이질적인 지오센서 네트워크의 질의처리에 독립적인 지오센서 정보 수집 방법
- 다수의 이질적인 지오센서 네트워크들의 효율적인 그룹 관리를 위한 가상 센서 네트워크 기반 정보 수집 방법

다음 3.1, 3.2, 3.3절에서는 위에서 제시된 각 기능들에 대하여 본 연구에서 제안되는 지오센서 네트워크 미들웨어의 상세 설계 내용을 제시하고 있다.

3.1 확장 SQL 기반 지오센서 정보 수집

지오센서 네트워크 미들웨어는 웹에서 지오센서 정보를 제공하기 위하여 기본적으로 SOS, SPS, WNS의 표준 인터페이스를 지원하고 있다. 이외에도 이질적인 지오센서 네트워크로부터 표준화되고 추상화된 방법으로 정보를 수집할 수 있도록 하기 위하여 SQL을 확장한 새로운 SQL-G(SQL for Geosensor)를 정의하고 있다. 사용자는 SQL-G를 이용하여 지오센서 네트워크의 종류에 관계없이 다양한 요구사항을 반영하여 지오센서 정보를 수집할 수 있는데, SQL-G는 기존 SQL의 질의처리 기능 이외에 아래와 같은 질의처리 기능을 추가로 지원하고 있다.

- 지오센서 정보를 정해진 기간 동안에 특정 주기를 단위로 계속하여 수집하는 주기적인 질의
- 지오센서 네트워크에 사용자 정의 이벤트가 발생하였을 때, 정보를 수집하는 이벤트 질의
- 지오센서 정보에 대하여 속성 및 공간조건을 만족하는 정보를 수집하는 공간 질의

그림 1은 이러한 SQL-G의 요약된 Grammar 정의를 보여준다. 그림 1에서 라인 2는 이벤트 질의의

정의를 보여주고 있는데, SQLOrExpr() 구문에 사용자 정의 이벤트 조건이 입력된다. 라인 6의 SQLWhere() 구문에는 일반적인 비교연산 이외에도 공간 질의 처리를 위한 공간연산의 입력이 가능한데, 공간연산자로는 OGC의 Simple Feature 사양의 “Within, Contains, Overlaps, Intersects, Touch, Disjoint, Crosses, Equals”가 입력 가능하며, 질의 문은 WKT(Well Known Text)를 이용하여 표현된다. 끝으로, 라인 9-13은 사용자가 지정한 기간 동안에 초 단위, 분 단위, 또는 시간 단위로 지오센서 정보를 주기적으로 수집하는 주기적인 질의를 정의하고 있다.

```

1: SQLSelect() :
2: ["EVENT ON" SQLOrExpr()]
3: "SELECT" SQLSelectColumn()
4: (LOOKAHEAD(2) " " SQLSelectColumn()*)
5: "FROM" SQLTableList()
6: [SQLWhere()] [SQLGroupBy()] [SQLPeriodAndLifetime()]
7: SQLOrExpr() :
8: .....
9: SQLPeriodandLifetime() :
10: ("PERIOD" <INTEGER> [SQLTimeUnit()])
11: "FOR" <INTEGER> [SQLTimeUnit()])
12: SQLTimeUnit() :
13: ("SECOND" | "MINUTE" | "HOUR")
    
```

그림 1. SQL-G Grammar 요약

그림 2는 SQL-G를 이용하여 지오센서 정보를 수집하는 다양한 질의 예제를 보여준다. 그림 2에서 질의(1)은 주기적인 질의로, “ $25 \leq temperature \leq 35$ ” 조건을 만족하는 센서노드의 <id, temperature, humidity> 정보를 매 10분 주기로 24시간 동안 수집한다. 질의(2)는 이벤트 질의로, ID가 2인 센서노드에 “ $temperature \geq 40$ ”의 이벤트 발생 시에, 모든 센서노드의 <id, humidity, temperature, location> 정보를 매 1분 주기로 30분 동안 수집한다. 질의(3)과(4)는 공간 질의로, 질의(3)은 WHERE 절에 입력된 두 개의 다각형 영역 내에 포함되는 노드의 <temperature, humidity, location> 정보를 수집하며, 질의(4)는 A와 B의 두 지오센서 네트워크에 대하여 각 지오센서 네트워크에 속하는 센서노드들 사이의 거리가 30미터 이하이고 “ $A.humidity > 60$ ”와 “ $B.co > 8$ ” 조건을 만족하는 센서노드 쌍(A, B)의 id, humidity, co, location 정보를 수집한다. 또한, SQL-G는 In-network의 센싱정보 수집에서의 에너지 효율성을 높이기 위하여 이용되는 SUM, AVG,

MIN, MAX, COUNT의 집계 질의를 지원하며, 질의(5)는 nodePurpose에 따라서 그룹화된 센서노드들의 temperature의 최소, 최대, 평균, 합계 등의 집계 정보를 수집하고 있다.

```

(1) SELECT id, temperature, humidity FROM GSN
    WHERE(temperature >= 25 AND temperature <= 35)
    PERIOD 10 MINUTE FOR 24 HOUR
(2) EVENT ON(temperature >= 40 AND id = 2 )
    SELECT id, humidity, temperature, location FROM GSN
    PERIOD 1 MINUTE FOR 30 MINUTE
(3) SELECT temperature, humidity FROM GSN
    WHERE WITHIN(location, MULTIPOLYGON
        ((10 10, 10 40, 40 40, 40 10, 10 10),
         (40 40, 40 70, 70 70, 70 40, 40 40)))
(4) SELECT A.id, A.humidity, A.location, B.id, B.co, B.location
    FROM GSN1 AS A, GSN2 AS B
    WHERE DISTANCE(A.location, B.location) < 30
    AND A.humidity > 60 AND B.co > 8
(5) SELECT nodePurpose, MIN(temperature),
    MAX(temperature), AVG(temperature), SUM(temperature),
    COUNT(temperature) FROM 10000
    GROUP BY nodePurpose
    
```

그림 2. SQL-G 기반 지오센서 정보 수집 질의

끝으로, SQL-G 질의 처리기는 지속적으로 수행되는 주기 및 이벤트 질의에 대하여 일시 중지, 재시작, 강제 종료의 사용자 제어도 가능하다.

3.2 이질적인 지오센서 네트워크의 질의처리 능력에 독립적인 정보 수집

본 논문에서 제안된 지오센서 네트워크 미들웨어는 이질적인 지오센서 네트워크의 In-network 질의 처리 능력에 관계없이 사용자에게 추상화된 방식으로 동일한 수준의 지오센서 정보 수집 방법을 지원할 수 있다. 이는 사용자 질의를 분석하여 Query Plan을 생성하고자 할 때, 지오센서 네트워크의 질의처리 능력을 고려하여 차별적으로 Query Plan을 생성함으로써 가능해진다. 예를 들면, 그림 3과 같이 질의 Q가 주어졌을 때, 각 지오센서 네트워크의 Capability를 고려하여 Query Plan이 다르게 생성되게 된다. 여기서, 질의 Q는 지오센서 네트워크 GSN1, GSN2, GSN3, GSN4로부터 비교연산 및 공간연산을 동시에 만족하는 센서노드의 CO, CO2, 위치정보를 주기적으로 수집하는 예제이다.

```

SELECT id, CO, CO2, loc
FROM GSN1, GSN2, GSN3, GSN4
    
```

**WHERE CO2 > 10 AND CO2 < 30 AND
WITHIN(loc, RECTANGLE(10, 10, 100, 100))
PERIOD 5 MINUTE FOR 2 HOUR**

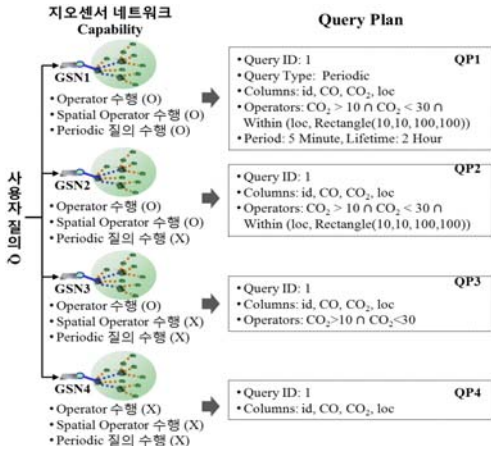


그림 3. 지오센서 네트워크의 질의처리 Capability를 고려한 Query Plan 생성

그림 3의 GSN1과 같이 센서노드가 비교연산, 공간연산, 그리고 주기적인 질의를 처리할 능력이 있는 경우에는 QP1과 같이 모든 연산을 포함하는 Query Plan이 생성되어 센서에게 전송되고 처리된다. GSN2는 주기적인 질의를 처리할 수 없기 때문에 QP2와 같이 비교 및 공간연산만을 포함하는 Query Plan이 생성되어 센서에게 전송되며, QP2에 포함되지 못한 주기적인 질의는 지오센서 네트워크 미들웨어의 서버가 QP2의 주기적인 스케줄링을 통하여 수행한다. GSN3는 QP3와 같이 비교연산만을 포함하는 Query Plan이 생성되어 센서에게 전송되고, 나머지 공간연산 및 주기적인 질의 조건은 지오센서 네트워크 미들웨어의 서버가 수행한다. 끝으로, GSN4는 단순히 모든 센싱정보를 수집하는 Query Plan 센서에게 전송되고, 비교연산, 공간연산, 주기적인 질의는 지오센서 네트워크 미들웨어의 서버가 수집된 센싱정보를 이용하여 직접 수행한다. GSN1의 경우, 지오센서 정보에 대한 연산이 모두 In-network에서 수행되기 때문에 서버로 전송되어야 하는 정보의 양이 크게 줄어들게 되고, 이로 인하여 무선통신 비용의 부담이 크게 줄어드는 장점을 가지고 있다. 이에 비해, GSN4의 경우는 모든 지오센서 정보를 서버로 수집해야 하기 때문에 무선통신 비용의 부담이 크게 증가하고, 결국 지오센

서 네트워크의 에너지 효율성을 크게 떨어뜨리게 되는 단점을 가지고 있다. 특히, 이벤트 질의는 지오센서 네트워크가 이벤트 처리 능력이 있는 경우, 이벤트 발생 때에만 지오센서 정보를 서버에 전송하면 되지만, 그렇지 않은 경우에는 서버에서 주기적으로 이벤트를 체크하기 위한 Query Plan을 지속적으로 In-network로 전송해야 하는 부담이 있다.

```

1: <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2: <geosensorNetworks xmlns="http://ugis/gsn/metadata">
3: <geosensorNetwork gsnID="GSN1">
4: <feature operatable="false" eventable="false"
5:   periodicable="false" aggregatable="false"
6:   spatialable="false" queryCount="1" gsnMode="pull"/>
7: <nodeSet>
8: <node id="100" name="Node 100" x="100" y="100"/>
9: <node id="101" name="Node 101" x="150" y="150"/>
10: <node id="102" name="Node 102" x="200" y="200"/>
11: </nodeSet>
12: <sensorSet>
13: <sensor id="1" name="nodePurpose" type="string"/>
14: <sensor id="2" name="temperature" type="float"/>
15: <sensor id="3" name="moisture" type="float"/>
16: <sensor id="4" name="pressure" type="float"/>
17: <sensor id="5" name="position" type="double"
18:   type2="double"/>
19: </sensorSet>
20: </geosensorNetwork>
21: <geosensorNetwork gsnID="GSN2">
22: <feature operatable="false" eventable="false"
23:   periodicable="false" aggregatable="false"
24:   spatialable="false" queryCount="1" gsnMode="pull"/>
25: <nodeSet>
26: <node id="200" name="Node 200" x="50" y="50"/>
27: <node id="201" name="Node 201" x="75" y="75"/>
28: <node id="202" name="Node 202" x="100" y="100"/>
29: </nodeSet>
30: <sensorSet>
31: <sensor id="1" name="purpose" type="string"/>
32: <sensor id="2" name="temperature" type="float"/>
33: <sensor id="3" name="humidity" type="float"/>
34: <sensor id="4" name="pressure" type="float"/>
35: <sensor id="5" name="location" type="double"
36:   type2="double"/>
37: </sensorSet>
38: </geosensorNetwork>
39: </geosensorNetworks>
    
```

그림 4. XML 기반의 지오센서 네트워크 메타정보

끝으로, 지오센서 네트워크 미들웨어는 Query Plan 생성에 필요한 지오센서 네트워크 Capability 정보를 그림 4와 같이 XML 기반의 메타정보로 관리하고 있다. 그림 4에서 라인 3-20은 지오센서 네트워크 GSN1, 라인 21-38은 GSN2의 메타정보를 정의하고 있다. GSN1에서 라인 4-6의 <feature>

태그를 보면, GSN1은 비교연산(operatable), 이벤트(eventable), 주기적인 질의(periodic), 집계연산(aggregatable), 그리고 공간연산(spatialable)을 수행할 능력이 없음을 알 수 있다. 또한, GSN1 네트워크는 사용자가 지오센서 정보 수집을 요청할 때만 정보를 제공하는 pull 방식으로 동작함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안된 미들웨어는 pull 방식 이외에 push 방식의 지오센서 네트워크도 지원할 수 있는데, push 방식은 사용자의 지오센서 정보 수집 요청이 없어도 지오센서 네트워크가 미들웨어로 정보를 지속적으로 push하는 방식을 의미한다. 라인 7-11에서는 GSN1에 포함되어 있는 센서노드에 대한 메타정보로 노드 ID, 이름, 초기 위치정보를 정의하고 있으며, 라인 12-19에서는 각 노드가 수집할 수 있는 센서 컬럼에 대한 메타정보로 노드목적(nodePurpose), 온도(temperature), 습도(moisture), 압력(pressure), 위치(location) 정보가 있음을 정의하고 있다. 이러한 지오센서 네트워크 메타정보는 미들웨어를 통하여 쉽게 수정, 추가, 삭제가 가능하다.

3.3 가상 센서 네트워크 기반 지오센서 정보 수집

본 논문의 지오센서 네트워크 미들웨어는 두 개 이상의 이질적인 지오센서 네트워크를 사용자가 원하는 방식으로 그룹화하여 가상 네트워크를 생성하고, 생성된 가상 네트워크로부터 지오센서 정보를 수집할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 이러한 가상 지오센서 네트워크는 두 개 이상의 지오센서 네트워크로부터 사용자가 원하는 센서 컬럼을 추출하여 구성되는데, 사용자는 이러한 가상 네트워크에 대하여 지오 센서 정보 수집을 위한 SQL-G의 다양한 질의를 요청할 수 있게 된다. 예를 들어, 가상 네트워크는 그림 4의 메타정보를 이용하여 간단하게 구성이 가능한데, 그림 5는 GSN1과 GSN2의 네트워크를 융합한 VirtualGSN1의 가상 지오센서 네트워크 예제를 보여준다. 여기서, 라인 3-27은 VirtualGSN1의 가상 지오센서 네트워크를 정의하고 있는데, 라인 4-9는 GSN1에서 수집 가능한 온도(temperature), 습도(moisture), 위치(position)를 temperature_view, moisture_view, location_view로 매핑하고 있으며, 라인 10-15는 GSN2에서 수집 가능한 온도(temperature), 습도(humidity), 위치(location)를 temperature_view, moisture_view,

location_view로 매핑하고 있다. 이에 사용자는 VirtualGSN1의 temperature_view, moisture_view, location_view의 가상 센서 컬럼 정보를 수집함으로써, GSN1과 GSN2의 온도, 습도, 위치 정보를 한꺼번에 수집할 수 있게 된다. 이러한 가상 센서 네트워크는 사용자가 원하는 다양한 필터링 연산을 적용하여 생성될 수 있는데, 라인 16-26은 GSN1과 GSN2에 대하여 각각 *moisture*>30의 비교연산 및 WITHIN의 공간연산 등을 적용하여 가상 지오센서 네트워크를 생성하는 방법을 보여주고 있다.

이러한 가상 지오센서 네트워크 기반의 질의처리는 다수의 이질적인 지오센서 네트워크를 관리할 때 동일한 성격을 지니는 센싱정보를 효율적으로 통합하여 관리할 수 있는 장점을 제공할 수 있다. 본 논문의 지오센서 네트워크 미들웨어는 이러한 가상 지오 네트워크를 효율적으로 관리하여 변경, 삭제 및 추가 작업을 수행하기 위한 기능을 제공하고 있다. 끝으로, 그림 6은 그림 5를 통하여 생성된 VirtualGSN1 테이블의 구성 예제를 보여준다.

```

1: <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2: <viewSet xmlns="http://ugis/gsn/metadata">
3:   <view viewName="VirtualGSN1">
4:     <viewColumn gsnID="GSN1" column="temperature"
5:       viewColumnName="temperature_view"/>
6:     <viewColumn gsnID="GSN1" column="moisture"
7:       viewColumnName="moisture_view"/>
8:     <viewColumn gsnID="GSN1" column="position"
9:       viewColumnName="location_view"/>
10:    <viewColumn gsnID="GSN2" column="temperature"
11:      viewColumnName="temperature_view"/>
12:    <viewColumn gsnID="GSN2" column="humidity"
13:      viewColumnName="moisture_view"/>
14:    <viewColumn gsnID="GSN2" column="location"
15:      viewColumnName="location_view"/>
16:    <operator gsnID="GSN1" opType="1" column="moisture"
17:      operator=">" operand="30" relation="and"/>
18:    <operator gsnID="GSN2" opType="2" column="location"
19:      operator="WITHIN" operand="POLYGON"
20:      relation="noop">
21:      <spatialOperand x="30" y="30"/>
22:      <spatialOperand x="30" y="90"/>
23:      <spatialOperand x="90" y="90"/>
24:      <spatialOperand x="90" y="30"/>
25:      <spatialOperand x="30" y="30"/>
26:    </operator>
27:  </view>
28: </viewSet>

```

그림 5. 가상 지오센서 네트워크 구성 예제

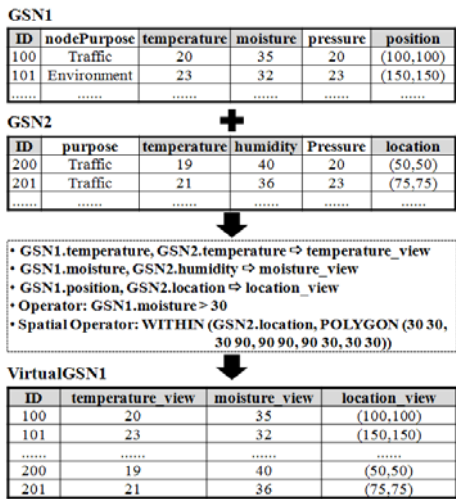


그림 6. 이질적인 GSN1과 GSN2로부터 생성된 VirtualGSN1의 구성 예제

4. 지오센서 네트워크 미들웨어의 구현

4.1 시스템 구성

지오센서 데이터의 효율적인 수집 및 관리뿐만 아니라, 실세계에서의 효율성을 높이기 위하여 본 연구에서는 그림 7과 같이 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템을 구성하였다.

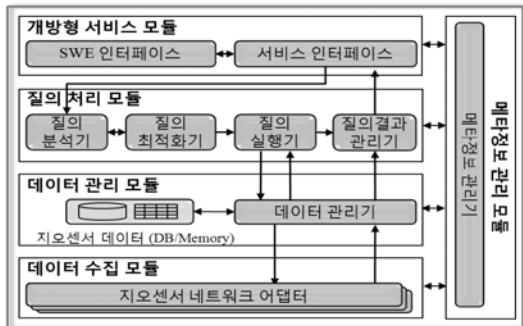


그림 7. 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템 구성

지오센서 네트워크 미들웨어의 핵심 모듈은 개방형 서비스 모듈, 질의처리 모듈, 데이터 관리 모듈, 데이터 수집 모듈, 그리고 메타정보 관리 모듈로 구성되어 있다.

개방형 서비스 모듈은 웹에서 표준화된 방법으로 지오센서 정보를 제공하기 위하여 OGC SWE [18]의 SOS [19], SPSS [20], WNS의 인터페이스를 기본

적으로 지원하고 있다. 이들 인터페이스를 이용하여 사용자는 웹에서 지오센서 정보를 쉽게 수집할 수 있으며, 센서노드를 제어할 수 있으며, 센서노드에 특별한 상황이 발생할 때 특정 이벤트 메시지를 받을 수도 있다. 이러한 기본적인 SWE 인터페이스 이외에도 본 연구에서는 실세계에서 u-GIS 응용시스템의 쉽고 빠른 개발을 지원하기 위하여 SQL-G에서 정의된 다양한 지오센서 정보 수집 및 제어 방법, 메타정보 관리 방법 및 가상 네트워크 관리 방법 등을 포함하는 서비스 인터페이스를 추가적으로 제공하고 있다. 서비스 인터페이스는 Java RMI를 이용하여 구현되어 외부에서 쉽게 이용이 가능하다. 앞에서 설명된 SWE 인터페이스도 내부적으로는 이 서비스 인터페이스의 기능을 이용하여 구현되어 있다.

질의 처리 모듈은 이질적인 지오센서 네트워크들로부터 정보를 수집하려고 하는 다수의 사용자 질의들을 효율적으로 처리하기 위한 역할을 수행한다. 질의 처리 모듈은 사용자가 다양한 방법으로 지오센서 정보를 획득할 수 있도록 하기 위하여 그림 2에서 제시된 다양한 유형의 SQL-G 질의문들을 처리할 수 있다. 질의 분석기는 SQL-G 질의문을 파싱하고 분석하여 지오센서 네트워크에서 수행할 Query Plan을 생성하며, 질의 최적화기는 지오센서 네트워크의 에너지 소모 최소화를 위하여 3.2절에서 설명된 센서의 질의처리 능력을 고려하여 센서가 에너지 효율적으로 질의를 수행하기에 최적화된 Query Plan을 생성하는 역할을 수행한다. 질의 실행기는 Query Plan들의 Life Cycle을 관리하며, 지오센서 정보 수집 메시지를 Data Manager에게 전송하는 역할을 수행하는데, Query Plan에 따라서 지오센서 네트워크에 주기적으로 정보 수집 메시지를 보내기도 한다. 또한, 질의 실행기는 지오센서 네트워크가 비교연산 및 공간연산의 처리 능력이 없는 경우에 이러한 연산을 직접 처리하는 역할도 수행한다. 질의결과 관리기는 지오센서 네트워크에 전송된 Query Plan에 대한 응답으로 데이터 관리기로부터 주어지는 지오센서 정보를 사용자에게 전송하는 역할을 수행한다. 여기서, 질의 실행기와 질의결과 관리기의 Query Plan 수행 및 정보 수집 작업은 일반적인 질의처리와는 달리 비동기적으로 동작하도록 구성되어 있다. 이는 Query Plan이 지오센서 네트워크에 전달될 때 이에 대한 결과가 바로

생성되지 않거나, 하나의 Query Plan에 대하여 결과가 주기적으로 여러 번 수집될 수도 있기 때문에 두 작업을 1:1로 매핑할 수 없기 때문이다. 끝으로, 이러한 질의처리 모듈은 비동기적으로 동작하는 다수 질의를 효율적으로 스케줄링하기 위하여, 질의들에 대한 쓰레드 풀링을 이용하여 구현되었다.

데이터 관리 모듈은 지오센서 네트워크로부터 수집되는 정보를 메인 메모리와 데이터베이스를 이용하여 효율적으로 관리하고 사용자에게 전달하는 역할을 수행한다. 특히, 데이터 관리 모듈은 pull과 push 방식에 의하여 수집되는 지오센서 정보를 효율적으로 관리할 수 있는데, pull 방식에서는 질의에 대한 응답으로 수집된 정보를 질의 처리 모듈의 질의 실행기 또는 질의결과 관리기를 통하여 사용자에게 제공하는 역할을 수행한다. push 방식에서는 질의가 없어도 지오센서 네트워크로부터 정보가 임의적으로 그리고 지속적으로 수집되기 때문에 데이터 관리 모듈은 가장 최신에 전송된 정보를 메모리에 저장하여 관리하며, 이후에 질의가 주어지면 메모리에 저장되어 있던 정보를 이용하여 질의를 수행하게 된다. 이와 같이 데이터 관리 모듈은 내부적으로 상호 이질적인 방식으로 동작하는 push 및 pull 방식의 지오센서 네트워크 모듈을 지원하는데, 특히 사용자에게는 내부과정을 추상화시킴으로써 지오센서 네트워크의 정보 제공 방식에 대하여 고민할 필요가 없는 장점을 가지고 있다. 이외에도 데이터 관리 모듈은 내부에 관리하고 있는 지오센서 정보들을 사용자 선택적으로 외부 데이터베이스에 저장할 수 있는 기능을 제공하고 있는데, 정보들을 시간대별로 저장함으로써 과거 정보들에 대한 검색, 필터링, 분석 등을 수행할 때 유용하게 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 외부 데이터베이스에 저장되는 지오센서 정보 테이블 스키마는 그림 4의 지오센서 네트워크 메타정보를 이용하여 생성되는데, 라인 3의 gsnID는 테이블 이름을, 라인 12-19의 sensorSet 정보는 테이블을 구성하는 컬럼 정보를 의미하며, 정보가 수집된 시간을 저장하기 위하여 시간 컬럼이 추가된다.

데이터 수집 모듈은 이질적인 지오센서 네트워크와 물리적으로 연결하여 Query Plan을 전송하고 정보를 수집하는 부분으로 지오센서 네트워크 어댑터들로 구성되어 있다. 어댑터는 미들웨어에서 이용되는 Query Plan들을 이질적인 각 지오센서 네트워크

에 종속적인 명령어들로 매핑하는 작업을 수행하여, 지오센서 네트워크에 대한 추상화를 지원하고 있다. 특히, 다양한 유형의 지오센서 네트워크들에 대한 추상화를 지원하기 위하여 HTTP, SOAP, Socket 등의 다양한 통신 프로토콜을 기본적으로 지원하고 있으며, 새로이 연결되는 네트워크의 메타정보를 이용하여 물리적 연결을 위한 어댑터 소스 코드를 자동으로 생성하고 있다. 이에 u-GIS 응용서비스 개발자는 자동으로 생성된 어댑터 소스 코드에 연결하고자 하는 지오센서 네트워크의 API만 작성함으로써 빠르고 신속하게 네트워크를 연결할 수 있다. 현재, 데이터 수집 모듈은 지오센서 네트워크뿐만 아니라, 센서노드 또는 스마트 폰 등의 단위 단말 기기와의 직접 연결이 가능한 장점을 가지고 있다.

메타정보 관리 모듈은 그림 4와 같이 XML 기반으로 지오센서 네트워크 메타정보를 관리하는데, 지오센서 네트워크의 Identifier, Capability, 센서노드 Identifier, 센서 유형 및 타입 정보들을 관리하고 있다. 이러한 메타정보는 질의 처리 모듈에서 질의 오류를 검증하고 최적화된 Query Plan을 생성할 때, 데이터 관리 모듈에서 질의결과와 외부 저장을 위한 지오센서 네트워크별 데이터베이스 테이블을 생성할 때 이용될 수 있다. 이러한 메타정보 관리기는 XML 기반의 메타정보 관리 기능을 통하여 지오센서 네트워크 정보의 검색, 변경, 추가, 삭제 기능을 제공하고 있다.

끝으로, 그림 8은 이러한 지오센서 네트워크 미들웨어가 사용자 질의에 대하여 동작하는 과정을 자세히 보여준다.

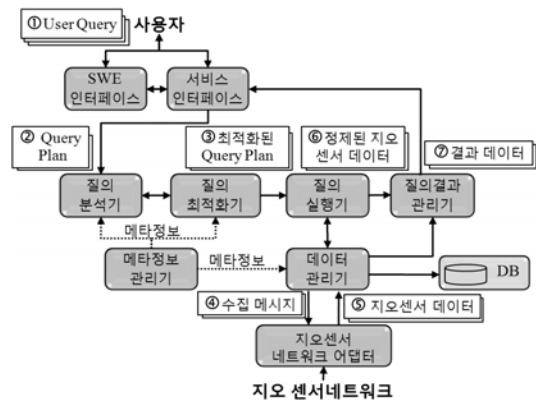


그림 8. 지오센서 네트워크 미들웨어에서 Query 수행 과정

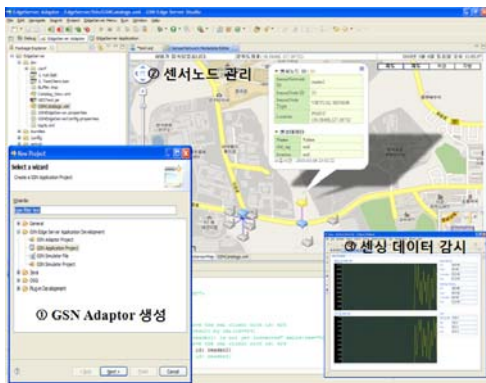
우선, 지오센서 정보 수집을 위한 Query①이 SWE 또는 서비스 인터페이스를 통하여 주어지면, 질의 분석기와 최적화기는 ①을 파싱하고 분석하여 최적화된 Query Plan③을 생성하게 된다. ③은 각 지오센서 네트워크에 특화된 정보 수집 메시지④로 변경되어 정보 수집을 요청하게 되며, 추후 어댑터에 지오센서 데이터⑤가 수집되면 ⑤는 데이터 관리기에 전송되고, 데이터 관리기에 전송된 ⑤는 지오센서 네트워크의 Capability 정보에 따라서 바로 질의결과 데이터⑦로서 질의결과 관리기를 통하여 사용자에게 전송되거나, 또는 질의 실행기에서 비교 및 공간연산 등이 적용된 후에 정제된 지오센서 데이터⑥로서 질의결과 관리기를 통하여 사용자에게 전송된다.

4.2 시스템 구현 및 검증

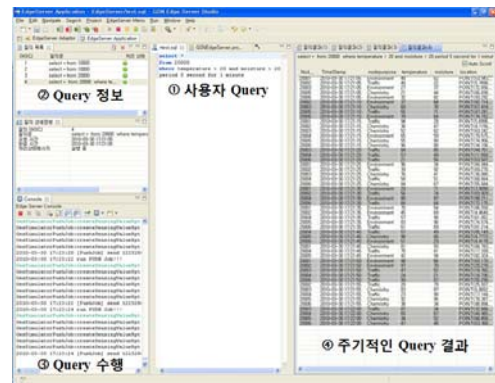
본 연구에서는 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템을 구현하기 위하여 SQL-G 파서, 공간 질의 처리기, 지오센서 데이터 관리기, 메타데이터 관리기, 지오센서 어댑터 등을 구현하였다. 또한, 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템을 사용자 인터페이스 기반으로 효율적으로 수행하기 위한 관리 툴을 구현하였다. 전체 시스템은 기본적으로 Windows XP 환경에서 JDK 1.6을 이용하여 구현되었으며, 특히 SQL-G 질의처리기는 JavaCC 파서 툴을 이용하여 구현되었으며, 사용자 인터페이스 기반 미들웨어 시스템 관리 툴은 Eclipse PDE(Plugin Development Environment)를 이용하여 구현되었다. 그림 9는 이러한 관리 툴을 이용한 지오센서 네트워크 관리 및

사용자 질의 수행의 예제를 보여주고 있다. 그림 9(a)에서 사용자는 미들웨어 관리 툴을 이용하여 신규 지오센서 네트워크 연결을 위한 어댑터를 자동으로 생성① 할 수 있으며, 맵 기반으로 지오센서 네트워크를 관리② 할 수 있으며, 지오센서 정보에 대한 모니터링③ 기능도 수행할 수 있다. 그림 9(b)에서는 이질적인 지오센서 네트워크에 대하여 다양한 질의처리가 가능함을 보여주고 있는데, 여기서는 ‘SELECT * FROM 20000 WHERE temperature>20 AND moisture>20 PERIOD 5 SECOND FOR 1 MINUTE’의 처리 결과를 보여주고 있다. 질의처리를 위한 인터페이스는 질의 입력①, 질의 정보 출력②, 질의 수행③, 그리고 질의 결과 출력④ 부분으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 개발된 지오센서 네트워크 미들웨어 시스템의 효율성을 검증하기 위하여 실제 이기종의 지오센서 네트워크들을 연결하여 환경정보를 실시간 감시할 수 있는 Prototype 시스템 개발을 추진하였다. Prototype 시스템은 개발된 미들웨어의 어댑터를 이용하여 네 종류의 이기종 지오센서 네트워크를 연결하였다. 구체적으로 온도, 습도, 조도 정보를 수집하는 Crossbow사와 Archrock사의 이기종 센서노드들을 각각 연결하였으며, 이동객체의 위치/속도정보를 수집할 수 있는 ETRI/SNR사의 센서노드를 연결하였으며, 그리고 영상정보를 수집할 수 있는 AXIS 네트워크 카메라 센서를 연결하였다. 그림 10은 지오센서 네트워크 미들웨어를 이용하여 구현된 환경감시 Prototype 시스템의 구성을 보여준다.



(a) 지오센서 네트워크 연결 및 관리



(b) 지오센서 네트워크 기반 사용자 질의처리

그림 9. 지오센서 네트워크 미들웨어 관리 툴 기반 지오센서 연결 관리 및 질의처리

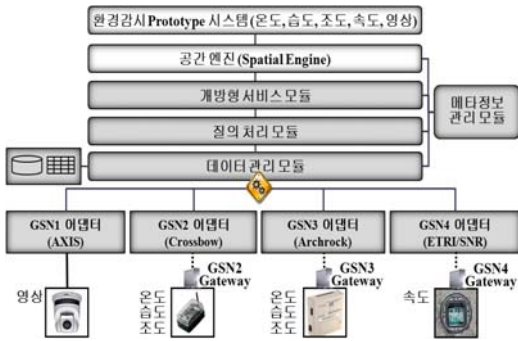


그림 10. 환경감시 Prototype 시스템 구성

Prototype 시스템 구성을 보면 공간엔진은 미들웨어의 개방형 서비스 모듈이 제공하는 이기종의 센서정보를 수집하여 환경감시 응용 시스템을 구축하고 있음을 알 수 있다. 여기서, 본 시스템은 미들웨어의 어댑터가 제공하는 자동 생성 소스코드를 이용하여 GSN1~GSN4을 연결함으로써 직접 연결하기 위하여 소모되는 시간 및 비용을 감소시킬 수 있었다. 또한, 이기종의 실시간 센서정보를 데이터베이스 정보를 이용하듯이 다양한 방법으로 제공하고 표준 웹 서비스를 통해서도 제공함으로써 응용 시스템 개발에 소모되는 시간 및 비용도 감소시킬 수 있었다. 일반적인 u-GIS 응용 시스템의 개발에서는 센서 네트워크 연결 과정과 다양한 유형의 센서정보 수집 방법의 개발에서 실제로 많은 시간과 비용을 소모하고 있다. 그림 11은 실제 구축된 환경감시 Prototype 시스템의 예제를 보여준다.

그림 11에서 하드웨어 구성을 보면 4개의 LCD Panel이 연결되었으며, LCD Panel은 Daum의 공간정보를 표출하고 있다. LCD Panel 위는 GSN1의 AXIS 카메라 1대, GSN2의 Crossbow 센서 4개, GSN3의 Archrock 센서 2개, 그리고 GSN4의 ETRI/SNR 센서 4개가 설치되어 있으며, AXIS 카메라를 제외한 각 센서는 무선통신을 통하여 자신의 무선 게이트웨이와 연결되어 있으며, 각 게이트웨이는 지오센서 네트워크 미들웨어의 어댑터를 통하여 환경감시 시스템과 연결되어 있다. 이러한 LCD Panel상에서 사용자는 SQL-G 질의처리를 기반으로 다양한 환경감시 서비스를 수행할 수 있는데, 공간 필터링을 기반으로 각 지오센서 정보의 주기적인 모니터링을 수행할 수 있으며, 공간-센싱정보의 융합분석을 수행할 수 있으며, 영상정보를 포함한 이벤트 처리도 수행할 수 있다.



그림 11. 환경감시 Prototype 시스템 예제

끝으로, 본 미들웨어는 기능 및 성능 검증 위하여 현재 안정화 작업을 거쳐 광역 규모의 지오센서 네트워크에 실질적으로 적용하는 세종시 지능형 국토정보기술혁신사업 테스트베드의 운영관리 시스템에 활용되고 있다. 구체적으로 다음 표 1과 같이 세종시에 설치된 지능형국토정보기술혁신사업단 성과물들의 다양한 이기종 센서들을 직접 연계하여 웹 서비스를 통하여 센서정보를 제공하고 있다.

표 1. 세종시 테스트베드의 이기종 센서 연계

개발 성과물	연계 센서
지상고정센서형 모니터링 시스템	간극수압계, 경사계
CCTV 통합영상모니터링 시스템	CCTV
차량 기반 국토모니터링 시스템	NO ₂ , SO ₂ , CO ₂ , CO, O ₃ , PM ₁₀
하천유역 모니터링 지원 시스템	토석류계, 강우량계
지상시설물용 USN 패키지	진동(가드레일), 온도/습도(가로등)
지하시설물용 USN 패키지	상수도, 하수도, 가스관
건설현장 적용형 위치인식 시스템	RTLS Tag, GPS RTK/MEMS

초기 테스트베드 운영관리시스템의 개발 과정에서는 각각 다른 연구기관들로부터 개발된 이기종의 센서들을 통합하여 서비스하는데 많은 어려움이 있었다. 첫째 Socket, HTTP, SOAP 등의 이질적인 프로토콜을 지원하는 7종의 센서들을 연계하는데 어려움이 있었으며, 둘째 센서들의 질의 및 정보처리 능력이 서로 상이하여 운영관리시스템에서 각 센서들에 대하여 동일한 수준의 센서정보에 대한 필터링 및 질의처리를 요청할 수 없었으며, 끝으로 이질적인 센서정보들을 표준 웹 서비스로 제공하는

데 있어서도 어려움이 있었다. 그러나, TinyDB, Cougar, COSMOS와 같은 기존 미들웨어는 특정 센서들에 대해서만 동작하기 때문에 이질적인 센서들을 연계할 수 없었으며, 각 센서별로 상이한 필터링 및 질의처리 능력을 미들웨어가 해결할 수도 없었으며, OGC의 SOS, SPS, WNS 웹 서비스도 지원할 수 없었다. 이에 비하여, 본 논문에서 제안된 지오센서 네트워크 미들웨어는 지오센서 네트워크 어댑터 기능을 이용하여 1 M/Y의 중급 엔지니어가 일주일 내에 7종의 이기종 센서를 연동할 수 있었으며, 메타정보에 저장되어 있는 센서의 필터링 및 질의처리 능력 정보를 이용하여 미들웨어가 센서의 부족한 질의처리 능력을 보완할 수도 있었으며, 끝으로 OGC의 SOS, SPS의 웹 서비스 인터페이스도 바로 제공할 수 있는 장점이 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 이질적인 지오센서 네트워크들로부터 추상화되고 표준화된 방식으로 정보를 수집하여 u-GIS 응용시스템의 빠른 개발을 지원할 수 있는 지오센서 네트워크 미들웨어를 제안하였다. 첫째, 제안된 미들웨어는 SWE와 SQL-G 인터페이스를 제공함으로써, 표준화된 다양한 방법을 통하여 지오센서 정보를 수집할 수 있다. 예를 들어, 일반적인 질의 이외에도 주기, 이벤트, 공간 질의들을 수행할 수 있다. 둘째, 각 지오센서 네트워크의 질의처리 Capability 따라 Query Plan을 다르게 생성함으로써, 질의 수행에서의 최적화와 추상화를 지원하고 있다. 셋째, 이질적인 두 개 이상의 지오센서 네트워크를 그룹화하여 데이터 관리 및 질의처리를 수행할 수 있는 가상 지오센서 네트워크 관리 방법을 지원하고 있다. 넷째, 이질적인 지오센서 네트워크의 효율적인 물리적인 연결을 위하여 HTTP, SOAP, Socket 등의 프로토콜을 포함하는 어댑터 소스 코드 자동 생성 기능을 지원하고 있다.

끝으로 제안된 지오센서 네트워크 미들웨어의 효용성을 검증하기 위하여 온도, 습도, 조도, 위치, 영상 정보를 수집할 수 있는 Crossbow, Archrock, ETRI/SNR, AXIS사의 다양한 이질적인 센서들을 연결하고 공간정보를 융합하여 환경정보를 실시간 감시할 수 있는 Prototype 시스템을 개발하였다. 이

러한 Prototype 시스템의 구축 과정에서 SWE 및 SQL-G 인터페이스가 지오센서 정보의 수집을 매우 쉽고 다양하게 지원하고 어댑터는 이질적인 센서노드의 연결을 매우 쉽게 지원함을 알 수 있었다. 또한, 세종시 테스트베드에 본 미들웨어를 적용함으로써, 이질적인 지오센서의 연동 및 웹 서비스 시스템의 개발 과정에서 시간과 비용 면에서의 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] P. Agouris, D. Gunopulos, V. Kalogeraki, and A. Stefanidis, 2008, "Knowledge Acquisition and Data Storage in Mobile Geosensor Networks," LNCS 4540, pp. 86-108.
- [2] P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadri, 2001, "Towards Sensor Database Systems," Proc. 2nd Int'l Conf. Mobile Data Management, LNCS 1987, pp 3 - 14.
- [3] M. Botts, G. Percivall, C. Reed, and J. Davidson, 2007, "OGC Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture," Open Geospatial Consortium Inc.
- [4] M. Demirbas and H.Ferhatosmanoglu, 2003, "Peer-to-Peer Spatial Queries in Sensor Networks," Proc. 3rd Int'l Conference on Peer-to-Peer Computing, pp. 32-39.
- [5] M. Demirbas and X. Lu, 2007, "Distributed Quad-Tree for Spatial Querying in Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE Int'l Conference on Communications, pp. 3325-3332.
- [6] S. Hadim and N. Mohamed, 2006, "Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks," IEEE Distributed Systems Online, vol. 7, no. 3, pp. 1-23.
- [7] W. Heinzelman, A. Murphy, H. Carvalho and M. Perillo, 2004, "Middleware to Support Sensor Network Applications," IEEE Network Magazine Special Issue, January/February, vol. 18, no. 1, pp. 6-14.
- [8] M. S. Kim, J. W. Kim, and M. H. Kim, 2008, "Semijoin- Based Spatial Join Processing in

- Multiple Sensor Networks,” ETRI Journal, vol. 30, no. 6, pp. 853-855.
- [9] M. Kim, J. W. Lee, Y. J. Lee Kim, and J. C. Ryou, 2008, “COSMOS: A Middleware for Integrated Data Processing over Heterogeneous Sensor Networks,” ETRI Journal, vol. 30, no. 5, pp. 696-706.
- [10] C. K. Lee, B. Zheng, W. Lee, and J. Winter, 2007, “Materialized In-Network View for Spatial Aggregation Queries in Wireless Sensor Network,” ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 62, no. 5, pp. 382-402.
- [11] S. Li, S. H. Son, J. A. Stankovic, 2003, “Event Detection Services Using Data Service Middleware in Distributed Sensor Networks, Information Processing in Sensor Networks,” LNCS 2634, pp. 502-517.
- [12] S. Madden, M. J. Franklin, and J.M. Hellerstein, 2005, “TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks,” ACM TODS, vol. 30, no. 1, pp. 122 - 173.
- [13] A. Meka and A. Singh, 2005, “DIST: A Distributed Spatio-temporal Index Structure for Sensor Networks,” Proc. ACM CIKM, pp. 139-146.
- [14] A. Na and M. Priest, 2006, “OGC Sensor Observation Service Implementation Specification,” Open Geospatial Consortium Inc.
- [15] S. Nath, J. Liu, and F. Zhao, 2008, “Sensormap for wide-area sensor webs,” IEEE Computer, vol. 40, no. 7, pp. 90 - 93.
- [16] S. Nittel, A. Labrinidis, and A. Stefanidis, 2008, “Introduction to Advances in Geosensor Networks,” LNCS 4540, pp. 1-6.
- [17] K. Park, B. Lee, and R. Elmasri, 2007, “Energy Efficient Spatial Query Processing in Wireless Sensor Networks,” Proc. 21st Int’l Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp. 719-724.
- [18] M. Sharifzadeh and C. Shahabi, 2004, “Supporting Spatial Aggregation in Sensor Network Databases,” Proc. 12th ACM Int’l Workshop on Geographic Information Systems, pp.166-175.
- [19] I. Simonis and J. Echterhoff, “OGC Sensor Planning Service Implementation Standard,” Open Geospatial Consortium Inc.
- [20] A. Soheili, V. Kalogeraki, and D. Gunopulos, 2005, “Spatial Queries in Sensor Networks,” Proc. 14th ACM Int’l Workshop on Geographic Information Systems, pp. 61-70.
- [21] 김민수, 장인성, 2011, “GR-tree: 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 분산 공간색인기법”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제5호. pp. 63-74.
- [22] 김재철, 이규철, 2009, “u-GIS 국토정보 제공 시스템”, 한국공간정보시스템학회논문지, 제11권 제1호, pp. 65-72.
- [23] 윤민, 김용기, 라빈드라 비스타, 장재우, 2010, “지오센서 네트워크에서 센서 노드의 효율적인 에너지 관리를 위한 지정 경로 기반 데이터 집계 처리 기법”, 한국공간정보시스템학회 논문지, 제12권 제1호, pp. 10-17.
- [24] 정원일, 신승선, 백성하, 이연, 이동욱, 김경배, 이충호, 김주완, 배해영, 2009, “u-GIS 컴퓨팅을 위한 GeoSensor 데이터 스트림 처리 시스템”, 한국공간정보시스템학회논문지, 제11권 제1호, pp. 9-16.
- [25] 홍승태, 윤민, 장재우, 2010, “지오센서 네트워크에서 에너지 효율성을 지원하는 바이트코드 기반 데이터 서비스 미들웨어 구현, 한국공간정보학회지, 제18권, 제4호, pp. 75-88.

논문접수 : 2011.11.03

수정일 : 2012.01.26

심사완료 : 2012.02.27



김민수

1994년 부산대학교 전산학과 이학사
1996년 부산대학교 전산학과 이학석사
2010년 KAIST 전산학과 공학박사
2010년~현재 UST 겸임교수
1996년~현재 한국전자통신연구원 책

임연구원

관심분야는 Spatial DBMS, Sensor Network DBMS, LBS



이충호

1997년 인하대학교 컴퓨터공학과 학사
1999년 인하대학교 컴퓨터공학과 석사
2003년 인하대학교 컴퓨터공학과 박사
2004년~현재 한국전자통신연구원 선
임연구원

관심분야는 Spatial Database, Distributed Event-Based Systems, Sensor Data Management