

BodyNet에서의 스트림 데이터 실시간 모니터링 기법의 연구

이슬아, 최옥주, 이민수
이화여자대학교 컴퓨터공학과
lsa881117@naver.com, pensica@naver.com, mlee@ewha.ac.kr

Research on Real-time Stream Data Monitoring for BodyNet

Seul-A Lee, Ok-ju Choi, Minsoo Lee
Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

요 약

WBAN(Wireless Body Area Network)기반의 의료 응용으로 실시간 모니터링 시스템을 구현하였다. 특히 산소포화도 생체 센서들로부터 연속적으로 전송되는 스트림 데이터에 대해 다양한 조건을 포함하는 질의들이 실행 되는데 이러한 실시간 모니터링 질의들을 효율적으로 식별하기 위한 질의 인덱스를 설계하였다. 매번 모든 질의들을 실행하기에는 시간이 많이 걸리기 때문에 Interval Skip List를 이용하여 빠르고 효율적으로 식별하도록 설계하였다. 이로써 위급한 상황의 환자의 건강에 문제가 생겼을 때 신속하게 대처할 수 있는 환경을 제공한다. 본 논문에서는 방대한 양의 스트림 데이터와 이 데이터를 실시간으로 감시할 수 있도록 Interval Skip List를 스마트 메디컬 스페이스(m-MediNet)에 적용한 방법을 기술하고 있다.

1. 서론¹

기존의 의료 센서 모니터링은 매우 단순한 질의만을 지원하여 데이터 스트림에 대해 단편적인 해석만을 내릴 수 있었다. 하지만 단편적인 해석뿐만 아니라 연속적인 스트림 데이터와 같은 다양한 조건에 대한 실시간 모니터링 방법이 필요하다. 또한 WBAN 메디컬 응용은 위급상황을 인지하고 이에 대처해야 하는 것이므로 ‘실시간성’이 매우 중요하다. 따라서 다양하고 많은 수의 데이터에 대해 효율적으로 작동하는 모니터링 기능이 필요하다. 따라서 이를 위해 본 논문에서는 윈도우/비윈도우 질의 인덱싱과 Interval Skip List 자료구조를 이용한 실시간 모니터링 방법을 구현하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 WBAN(Wireless Body Area Network)와 산소포화도, Interval Skip List에 대해서 각각 기술한다. 3 절에서 윈도우/비윈도우 질의 인덱싱과 Interval Skip List를 적용한 실시간 모니터링 구현 방법에 대해 설명한다. 4 절에서는 순차 탐색에

의한 모니터링과의 비교를 통한 성능 분석을 하고 마지막으로 5 절에서 결론과 향후 연구 과제를 기술한다.

2. 관련연구

2.1 WBAN

WBAN은 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 디바이스들로 구성된 네트워크를 통해 몸을 중심으로 센서와 구동 기기 간에 데이터 교환을 지원한다. WBAN을 의료 분야에 이용하여 질병에 대해 사전 검진하고 예방할 수 있으며, 모니터링 시스템을 사용해 만성적인 환자나 노약자에 대해 장기적인 건강 상태를 감지하거나 지속적인 상황을 확인할 수 있다.

2.2 산소 포화도

산소 포화도(SpO₂)는 총 헤모글로빈 농도에 대한 산소와 결합한 산화 헤모글로빈 농도의 백분율을 말하며, 산소 포화도는 그 수치에 따라 여러 단계로 상태를 구분할 수 있다. 일반적으로 산소 포화도 95% 이상을 정상적인 상태로 판단하며, 95% 이하는 저산소혈증으로 각 기준에 따라 그 증상의 정도를 나눌 수 있다. 90에서 94는 가벼운 편이며 75-89는

¹ 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 중견연구자 사업(No. 2008-0061488)의 지원으로 수행된 연구결과임.

보통이고 75 미만은 심한 편이다. 산소 포화도 측정은 생명과 직결되는 피측정자의 상태를 빠르게 파악할 수 있다.

2.3 Interval Skip List

인터벌 스킵 리스트란 각 노드가 복수의 포인터를 가지고 있는 연결 리스트(Linked list)다. 각 노드의 포인터의 개수 k 는 각 노드의 최대 레벨과 같다. 각 노드의 최대 레벨은 아래와 같은 확률 p 에 대한 식으로 결정된다.

$$P(k) = \begin{cases} 0 & \text{for } k < 1 \\ (1-p) \cdot p^{k-1} & \text{for } k \geq 1 \end{cases}$$

인터벌 스킵 리스트를 구성하는 임의의 노드에 대해서, 최대 레벨 k 인 노드에는 k 개의 포인터가 존재한다. 이 때, 노드의 i 번째 포인터 ($k \geq i$) 는 i 보다 크거나 같은 최대 레벨을 가지는 노드를 가리킨다. 또한, 노드와 포인터에 대한 구간(interval)에 대한 마커(marker)를 가진다.

구간 $I=(A,B)$ 가 인덱스에 새로 추가될 때, 구간 I 의 끝 포인트(End Point) A 와 B 가 리스트에 존재하지 않을 경우 포인트 A,B 는 리스트에 노드로 삽입된다. 이 때, 삽입되는 노드의 레벨 결정은 위 확률식을 따른다. 이 때, 리스트에 이미 존재하던 기존의 인덱스에 (X,Y) 노드가 존재할 경우, 아래 조건을 만족하면 구간 I 를 위한 식별자(Identifier)가 (X,Y) 의 간선(Edge)에 마커로써 추가된다.

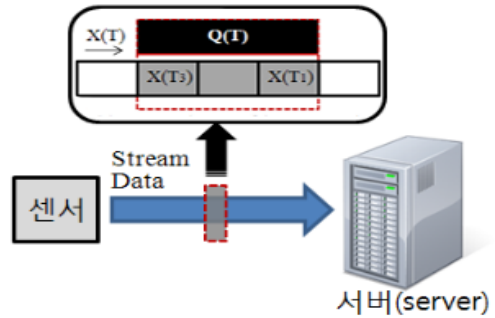
- Containment: $I \supset (X,Y)$
- Maximality: $I'=(X',Y') \supset I$ 인 임의의 구간 I' 에 대한 포인터가 존재하지 않는다.

만약 구간 I 를 위한 마커가 기존 간선 위에 존재하고, 그 간선에 연결된 노드의 값이 구간 I 에 포함되는 경우, 그 노드도 구간 I 를 위한 마커를 가진다. 이 때, 노드 위에 존재하는 마커는 eqMarker 라 한다.

3. 윈도우/비윈도우 질의 인덱싱과 Interval Skip List 를 실시간 모니터링에 적용

단편적인 데이터 해석뿐만 아니라 데이터 값들 간의 유기성을 파악 할 수 있는 시간 기반 슬라이딩 윈도우를 적용하였다. 스트림 데이터 X 에 대해 질의 Q 가 일정 기간 동안 지속적으로 적용되어 원하는 조건을 만족하는지를 효율적으로 알아내기 위하여 질의 언어와 질의 인덱스를 설계하였다.

또한, 사용자의 질의의 폭을 넓히기 위해 데이터 스트림을 이루는 각 속성에 대해 다양한 조건으로 이루어진 복합 질의를 사용하였고, 불필요한 비교 횟수를 줄이기 위해 각 속성마다 독립된 조건 탐색 과정을 거친 후 조건이 만족하는 질의에 대한 탐색만 수행하도록 하였다.



(그림 1) 실시간 스트림 데이터 모니터링 시스템 구조

사용자가 모니터링을 위해 입력하는 모니터링 질의 언어는 다음과 같이 정의하였다.

```

{<StartTime,EndTime>(Condition1,
...,ConditionN)[Term][Size][Duration]}
    
```

- <Start Time, End Time> : 질의 수행 시작 시간과 종료 시간
- [Term] : 윈도우 생성간격(H/M/S)
- [Size] : 윈도우 크기(최대 데이터 수)
- [Duration] : 질의 수행 간격(H/M/S)
- Condition : 질의를 구성하는 조건문

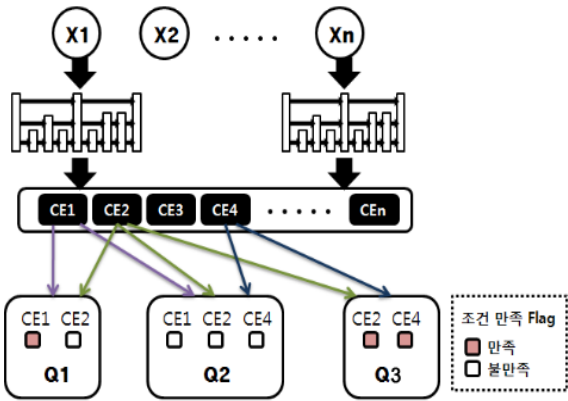
조건문 구조 - X_n OPERATOR C

- X_n : 대상 속성
- OPERATOR : < 또는 > 또는 =
- C: 비교 key 값이 되는 상수

(그림 2) 실시간 스트림 데이터 모니터링 질의 언어 구문

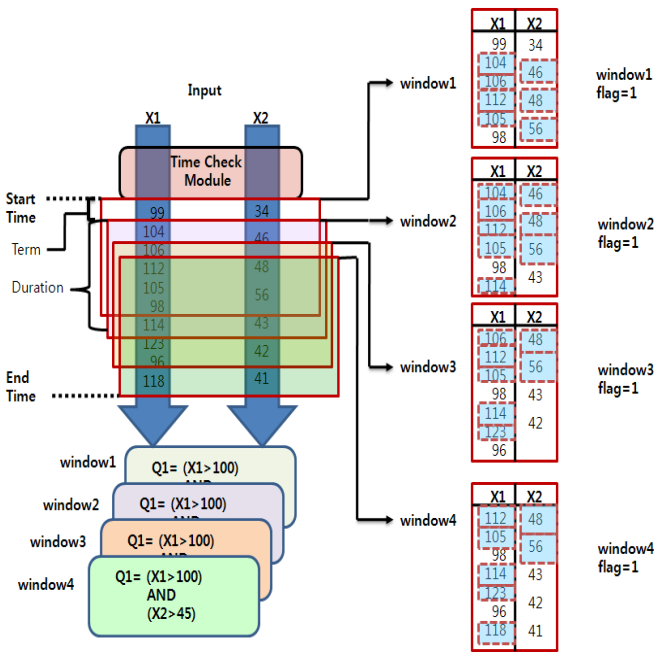
이 모니터링 윈도우 질의 언어의 윈도우 W 는 수행 시간<Start Time, End Time>동안 [Duration] 만큼의 데이터를 포함해 생성된 뒤, 질의의 조건문을 체크하는 윈도우이다.

비윈도우 질의 탐색 과정은 각 데이터 값이 인터벌 스킵 리스트를 통하여 먼저 개별적인 구간 조건에 속하는지 검사한 후 이들이 조건을 만족하면 상위의 AND 및 OR 로 구성된 논리 수식 검사 모듈에 넘겨져서 질의 만족 여부를 판별한다. 비윈도우 질의의 경우, 어떠한 구간 조건이 만족되면 그 구간 조건의 플래그가 만족 상태로 바뀌게 되는데 한 번 만족 상태로 들어온 플래그는 $T(t)+1$ 분 동안 유효하며 이 시간 동안 논리 수식 검사 모듈의 만족 여부를 결정하며 아래와 같이 수행한다.



(그림 3) 실시간 스트림 데이터 모니터링 비윈도우 질의 인덱스 구조

윈도우 질의의 경우, 우선 입력 스트림이 시간 체크 모듈을 거쳐서 해당 시간에 속하는 경우 그 시간 동안의 스트림 데이터에 대해 윈도우를 생성한다. 윈도우의 데이터들 중 각 속성에 대해 하나라도 질의를 만족하는 쌍(pair)이 존재하면, 해당 윈도우는 해당 질의에 대한 만족 플래그를 갱신한다. 윈도우 질의 구조는 아래와 같고, 과정이 종료되면 해당 질의에 대한 최종 모니터링 결과로 질의를 수렴하는 윈도우 번호를 돌려준다.



(그림 4) 실시간 스트림 데이터 모니터링 윈도우 질의 인덱스 구조

4. 성능 분석

설계한 혈중산소포화도(P_aO_2)에 대한 실시간 모니터링 시스템의 성능 분석은 순차 탐색에 의한 모니터링과 비교 평가로 수행하였다. 비윈도우 질의

수에 대한 비교 평가 결과를 바탕으로 센서에서 데이터를 보내는 시간을 제외하고 순수 질의 탐색 시간을 도출해서 비교해보았다.

<표 1> 질의 탐색 시간 비교

총 조건 수(개)	도착 데이터 횟수(번)	질의 탐색 시간(s)	
		IST 모니터링 시스템	순차 탐색
50	100	50	65
80	100	57	79
110	100	65	101

결과를 보면, 비윈도우 질의 모니터링에 대해 총 조건 수가 증가함에 따라 수행시간이 큰 폭으로 증가하는 순차 탐색에 비해 Interval Skip List 기반 모니터링 구조는 그 수행 시간과 탐색 시간의 증가율이 조건 수에 관계없이 일정 수준을 유지하여 매우 완만하게 탐색시간이 증가함을 알 수 있다. 따라서 점점 더 처리해야 할 데이터양은 증가하고, 사용자가 시스템에 요구하는 질의는 복잡해지는 미래에 대비하기에 적합한 구조라고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

앞으로 과학 기술이 발전함에 따라 센서 네트워크를 구성하는 센서의 종류는 증가하고 실시간 서비스 제공을 위해 서버에서 순간적으로 처리해야 할 데이터의 양은 점차 늘어날 것이며, 사용자가 시스템에 요구하는 질의 또한 복잡해질 것이다. 따라서 본 논문에서는 대량의 질의 탐색에 대해 뛰어난 성능을 보이는 인터벌 스킵 리스트를 적용한 모니터링 시스템 설계를 제안했다.

본 연구의 최종 목표는 WBAN 환경에서 효과적인 메디컬 서비스 제공을 위한 스마트 메디컬 스페이스(m-MediNet)요소 기술을 개발하는 것이다. 따라서 향후 연구는 본 논문에서 구현한 응용 계층으로서의 스트림 데이터 실시간 모니터링 기법을 통신의 물리 계층과 상위 계층과 통합함으로써 완전한 메디컬 응용 프로토타입을 개발하고 성능 분석을 하여 최적화하는 것이다.

참고문헌

[1] B. S. Kim, S. J. Kim, D. Y. Jung, “홈 헬스 케어를 위한 산소 포화도 모니터링 시스템 구현”, 대학전자공학회 학술대회 논문집Ⅱ, vol.30, no.1, pp. 1033~1034, 2007
 [2] STREAM, <http://infolab.stanford.edu/stream>

- [3] M. Garofalakis, et al, “Quering and Mining Data Stream : You Only Get One Look”, In Proc. the 28th VLDB’02, Hong Kong, China.
- [4] Brian Babcock, “Processing continuous queries over streaming data with limited system resources”, Stanford, CA: USA. 2006.
- [5] H. S. Jang, J. E. Kim, Y. H. Choi, J. C. Oh. “Zigbee 기반 산소 포화도 헬스 케어 시스템에 관한 연구” , 정보 및 제어 심포지움 논문집, pp.392-394, Apr 2007.
- [6] Eric N. Hanson, “The interval skip list: A data structure for finding all intervals that overlap a point”, Algorithms and Data Structure vol. 519, 1991.
- [7] J. K. Min, “QUISIS: Interval Skip List 를 활용한 길의 색인 기법”, Korea Information Processing Society Bimonthly, vol.15D, no3, pp.297-304, 2008.