

그림9 센서 네트워크 크기에 따른 평균 잔여 에너지 비율

그림 8은 네트워크 크기에 따른 재전송 수와 싱크 노드에서 메시지를 정상적으로 수신한 비율을 측정 한 결과이다. SARS와 TinyAODV 모두 On Demand 방식으로 동작하지만 SARS는 데이터를 전달할 방향과 이웃 노드에 대한 상황 정보를 관리하고, 이에 의해 데이터를 전달하기 때문에 TinyAODV에 비해 재전송 비율이 적고, 싱크 노드에서 정상적으로 메시지를 수신할 확률이 높음을 확인할 수 있다. 그리고 그림 9에서 볼 수 있듯이 SARS는 주변 노드에 대한 정보를 통신 과정을 통해 수집하기 때문에 네트워크 크기가 작은 경우, TinyAODV에 비해 많은 에너지를 소모하나, 네트워크 크기가 커짐에 따라 재전송 비율이 줄어들기 때문에 에너지 효율성이 향상됨을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서 제안한 SARS는 다수의 노드가 하나의 싱크 노드로 데이터를 전달하기 위한 멀티 홉 기반 센서 네트워크에서 라우트를 선택할 때, 이웃 노드들의 동적인 링크 상태나 잔여 에너지량을 고려하여 가장 데이터를 전달 받기 좋은 상황에 있는 노드를 선택하는 기법이다. 제안한 기법을 이용하면 동적인 센서 네트워크 환경에서 이웃 노드의 링크 상태에 의한 데이터 손실이나, 에너지 부족에 의한 패스 손실 확률을 줄일 수 있고, 이로 인하여 센서 네트워크 수명이 연장되는 효과를 얻을 수 있다.

향후 USN 환경에서 발생할 수 있는 보다 다양한 노드의 상황과 어플리케이션 특성까지 고려한 라우팅 기법으로 확장하는 연구를 진행할 것이다.

### 참고문헌

[1] D. Chin, " Nanoelectronics for the ubiquitous information society ", IEEE ISSCC, Feb 2005  
 [2] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, " Overview of Sensor Networks ", Published by the IEEE Computer Society, Aug 2004

[3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, " A Survey on Sensor Networks ", IEEE Communication Magazine, August 2002  
 [4] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, " Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A Survey ", IEEE Wireless Communications, December 2004  
 [5] W. R. Heinzeiman, J. Kulik, H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks", Proc ACM Mobicom, 1999  
 [6] C. Schurgers and M.B. Srivastava, " Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks ", MILCOM Proc. Commun. For Network-Centric Ops.: Creating the Info. Frce, McLean, VA, 2001  
 [7] R.C. Shah and J. Rabaey, " Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks " IEEE WCNC, Orlando, FL, Mar. 2002  
 [8] A. H. van Bunningen, L. Feng, P.M.G. Apers, " Context for Ubiquitous Data Management ", Ubiquitous Data Management 2005. International Workshop on April 2005  
 [9] A.G. Spilling and A.R. Nix, " An Introduction to Situation Aware Networks ", VTC 2000, 2000 IEEE 51<sup>st</sup>  
 [10] S. Sharma and A.R. Nix, S. Olafsson, " Situation-Aware Wireless Networks ", IEEE Communications Magazine, July 2003  
 [11] G. Gaertner, V. Caill, " Understanding Link Quality in 802.11 Mobile Ad Hoc Networks ", Published by the IEEE Computer Society Jan/Feb 2004  
 [12] V. Shnayder, M. Hempstead, B. Chen, G. W. Allen and M. Welsh, " Simulation the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications ", SenSys'04, Nov 2004  
 [13] K. Srinivasan, Ph. Levis, " RSSI is under Appreciated ", in proceedings of the Third Workshop on Embedded Networked Sensor, 2006  
 [14] G. Lim, K. Shin, J.S. Kim and H. Yoon, " Signal strength-based link stability estimation in ad hoc wireless networks ", Electronic Letters, 2003  
 [15] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, S. Das, " Ad-Hoc On Demand Distance Vector Routing ", IEEE WMCSA, 1999  
 [16] P. Levis, N. Lee, M. Welsh and D. Culler, " TOSSIM : Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Application ", Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov 2003  
 [17] Jasmeet Chhabra Intel Labs, Tinyadv for tinynos. <http://prdownloads.sourceforge.net/tinynos/tinynos-contrib-1.1.0.tar.gz?download>

# ATS-DA : 무선 센서 네트워크에서 데이터 병합을 위한 적응적 타임아웃 스케줄링 기법\*

\*백장운<sup>0</sup> \*\*남영진 \*서대화

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, \*대구대학교 컴퓨터·IT공학부  
\*kutc@ee.knu.ac.kr<sup>0</sup> \*\*yjnam@daegu.ac.kr \*dwseo@ee.knu.ac.kr

## ATS-DA : Adaptive Timeout Scheduling for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks

\*Jang Woon Baek<sup>0</sup> \*\*Young Jin Nam \*Dae-wha Seo

\*School of Electrical Engineering & Computer Science Kyungpook University

\*\*School of Computer & IT Daegu University

### 요 약

센서 네트워크에서 데이터 병합 시 타임아웃 스케줄링은 각 센서노드가 자식노드로부터 메시지를 받기 위해 기다려야하는 시간을 조절하는 것이다. 본 논문에서는 데이터 패킷의 변화에 따라 타임아웃을 적응적으로 조절하는 새로운 타임아웃 스케줄링 기법인 ATS-DA(Adaptive Timeout Scheduling for Data Aggregation)를 제안한다. ATS-DA는 자식노드로부터 수신한 데이터가 특별한 이벤트 없이 기준 데이터 변동률 범위 내에 있게 되면 타임아웃 값을 줄인다. 타임아웃을 작게 하면 파워 소모가 감소하고 전송 지연도 짧아진다. 센싱 데이터가 기준 데이터 변동률을 벗어나면 보다 정확한 데이터 병합 값을 얻기 위해 타임아웃 값을 늘린다. 시뮬레이션 결과에서 제안하는 ATS-DA 기법이 기존 캐스캐이딩 타임아웃 스케줄링 기법에 비해 데이터 정확도와 파워 소모 측면에서 우수한 성능을 보여주었다.

### 1. 서 론

MEMS, 무선통신, 전자공학 기술발전으로 무선 센서 네트워크가 여러 분야에서 사용되고 있다[1]. 센서 네트워크는 많은 센서 노드들로 구성된다. 센서노드는 물리적인 현상을 감시하고, 데이터를 처리하며 서로 통신을 한다. 센서노드는 배터리가 제한되어 있으므로 에너지를 효율적으로 사용하여 노드의 수명을 늘리는 것이 중요하다[2]. 센서노드에서 데이터 송수신에 소비되는 에너지가 데이터 처리에 비해 상대적으로 훨씬 크다[3].

인-네트워크(in-network) 데이터 병합은 센서노드의 전송 메시지 수를 줄임으로써 노드의 에너지 소모를 줄인다[4]. 인-네트워크 병합은 일반적으로 트리 기반의 토폴로지를 가지고, 트리내의 각 센서노드는 자식 노드의 수집 데이터와 자신의 수집 데이터를 병합하여 부모 노드로 전송한다. 병합을 수행하기 전에 각 노드는 자식노드의 메시지를 받아야한다. 이때, 자식 노드로부터 메시지를 기다리는 시간을 타임아웃이라고 한다. 타임아웃이 클수록 자식 노드로부터 메시지를 받을 확률이 높아지므로 데이터 정확도는 높아지지만 전송 지연이 커지고, 파워 소모가 증가한다[5]. 기존의 타임아웃 스케줄링 기법은 홉간지연(single hop delay)과 노드의 홉수를 이용하여 타임아웃을 설정하였다[3-8]. 기존 기법에서는 홉간지연

이 일정하다고 가정하였지만 실제 홉간지연이 네트워크 환경에 따라 동적으로 변한다.

센서 네트워크에서 수집되는 데이터는 시간 변화에 따른 값의 변동이 크지 않다[9]. 그리고 지리적으로 인접한 곳에 배치된 센서노드들의 데이터 변동률은 비슷하다. 특정한 이벤트가 발생할 경우 데이터 변동률이 크다. 따라서 동일 지역 내의 센서노드의 데이터 값이 특정 데이터 변동률 범위 내에 있다면, 그 구역 내의 센서노드도 변동률 범위 내에 있음을 추정할 수 있다.

본 논문에서는 가변적인 홉간지연에 대처하고 센서의 수집 데이터의 특성을 고려한 새로운 타임아웃 스케줄링 기법인 ATS-DA(adaptive timeout scheduling for Data Aggregation)을 제안한다. ATS-DA는 데이터 변동률과 타임아웃 여유분을 이용하여 노드의 파워 소모를 줄인다. ATS-DA는 처음 일정 시간동안 도착하는 자식노드의 데이터가 기준 데이터 변동률 범위 내에 있으면, 아직 도착하지 않은 자식노드의 데이터도 기준 변동률 범위 내에 있는 것으로 간주하고 바로 병합을 수행한다. 따라서 대기시간과 수신 메시지수를 줄임으로써 파워 소모를 줄인다. 또한 네트워크 환경이 나빠져서 주어진 타임아웃 내에 자식 노드로부터 메시지를 받지 못할 경우에는 상위 노드의 타임아웃 여유분을 이용하여 가능한 많은 메시지를 수신함으로써 데이터의 정확도를 높인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 인-네트워크 데이터 병합과 타임아웃 기법에 대해 살펴본다. 3장에서는 제안하는 ATS-DA에 대하여 자세히 설명한다. 4장에

\*본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2005-C1090-0501-0018)

서는 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고, 마지막으로 5 장에서는 결론을 맺고 향후 과제에 알아본다.

2. 배경

사용자가 베이스 스테이션(BS)을 통하여 쿼리를 보내면 리프노드로 전달되면서 라우팅 트리가 생성된다. 리프노드가 쿼리를 받으면 수집 정보를 BS쪽으로 보낸다. 중계노드는 자신이 수집한 데이터와 자식 노드로부터 받은 데이터를 병합하여 부모노드로 보낸다. 이러한 과정이 반복되어, BS에 병합된 데이터가 도착한다. 그림 1은 인-네트웍 데이터 병합의 예이다. 노드 2는 자식노드로부터 받은 데이터 a, b, c와 자신이 수집한 d를 함수 f로 병합한 z값을 부모노드로 전송한다. 병합을 수행하지 않을 경우에는 4개의 메시지(a,b,c,d)를 전송하여야 하지만, 데이터 병합을 통하여 1개의 메시지(z)만 전송하면 된다. 따라서 데이터 병합은 전송메시지를 수를 줄임으로서 에너지 소모를 줄일 수 있다[4].

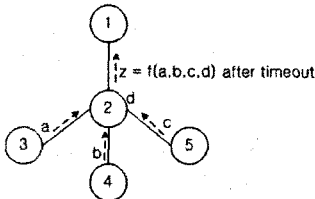


그림 1. 인-네트웍 데이터 병합 예

기존 타임아웃 스케줄링 기법은 BS로부터의 홉수와 홉간지연(*shd*), 수집주기(T)로 타임아웃을 계산하였다[3,4,5]. 그중에서 캐스케이딩 타임아웃 스케줄링 기법은 그림 2와 같이 타임아웃을 설정한다[5]. 캐스케이딩 타임아웃 스케줄링 기법은 자식노드보다 *shd*만큼 타임아웃을 증가시킴으로써 병합을 위한 동기화를 한다. 이 기법에서 *shd*가 일정하다고 가정하지만 실제 센서네트워크는 환경에 따라 *shd*가 변한다. 실제 *shd*가 캐스케이딩에서 정한 *shd*값보다 클 경우 데이터 손실이 발생한다.

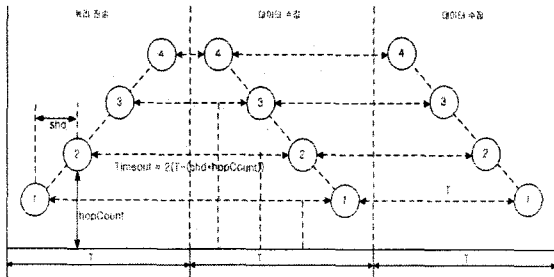


그림 2. 캐스케이딩 타임아웃[5]

타임아웃은 노드의 파워상태와 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 센서노드의 파워상태는 전송모드, 수신모드, 대기모드, 정지모드로 나누어진다. 전송모드의 파워소모

가 가장 크다. 타임아웃동안 노드의 파워모드는 수신/대기 모드이고 정지모드에 비하여 파워소모가 훨씬 크므로 타임아웃은 가능한 적게 설정하는 것이 좋다[5,6].

3. 적응적 타임아웃 스케줄링

본 논문에서는 '트리구조의 센서 네트워크에서 주기적으로 데이터 병합이 수행된다'고 가정한다. 또한, 센서 네트워크 환경 변화에 따라 '홉간지연(*shd*)은 가변적이다'라고 가정한다.

무선 센서 네트워크에서 수집되는 데이터는 다음과 같은 특성을 가진다.

- [특성1] 시간 변화에 따른 센서노드에서 수집되는 데이터의 변화량은 크지 않다.
- [특성2] 동일 구역에 배치된 센서노드들의 데이터 변동률은 비슷하다.
- [특성3] 특별한 이벤트가 발생한 경우, 예를 들어 지진이 발생하거나 산불이 발생할 경우에는 데이터의 변동률이 크다.

ATS-DA는 위의 센서 데이터 특성을 이용한다. 첫째, [특성1]과 [특성2]를 이용하여, ATS-DA는 먼저 도착한 메시지의 데이터가 기준 변동률 범위 내에 있으면 타임아웃은 평균홉간지연( $SHD_{avg}$ )로 설정한다. 이때, ATS-DA는 아직 도착하지 못한 자식노드의 메시지의 값도 데이터 변동률 범위 내에 있는 것으로 간주하고 더 이상 자식노드로부터 메시지를 받지 않고 바로 병합을 수행한다. 둘째, [특성3]을 고려하여, 수신 데이터가 기준 변동률 범위를 벗어나면 보다 정확한 데이터 병합을 수행하기 위해서 ATS-DA는 타임아웃을 늘린다. 이때, *shd*값은 자식 노드의 메시지 수신을 보장하기 위해서 *shd*값의 최대값( $SHD_{max}$ )으로 설정한다. 그리고 *shd*가  $SHD_{max}$ 보다 클 경우에는 자식노드의 메시지를 받기위해 부모노드의 타임아웃 마진을 사용한다. 센서노드( $node_i$ )의 타임아웃 마진(MRG<sub>i</sub>)은  $SHD_{max}$ 와  $SHD_{avg}$ 의 차(difference)로 초기화한다.

ATS-DA의 프로시저는 그림 3과 같다. ATS-DA는 각 센서노드( $node_i$ )에서 동작한다. 부모노드( $node_{par(i)}$ )부터 쿼리를 받은 센서노드( $node_i$ )는 자신의 홉수( $hopCount_i$ ), 타임아웃(Timeout<sub>i</sub>), 여유분(MRG<sub>i</sub>)와 기준 데이터 변동률( $DV_i$ )를 초기화한 후, 타임아웃 타이머( $T_{cur}$ )를 구동하고, 자식노드들로부터 메시지를 기다린다. 센서노드는  $SHD_{avg}$ 동안 도착한 데이터의 변동률을 업데이트하면서 부분적인 병합을 수행한다.  $SHD_{avg}$ 동안 수신한 데이터의 변동률이  $DV$ 보다 작으면 마지막 병합을 수행한다. 데이터 변동률이  $DV$ 보다 크면 ATS-DA는 자식노드가 사용한 타임아웃 마진을 뺀  $SHD_{max}$ 동안 메시지를 기다린다. ATS-DA가 타임아웃 이내에 모든 자식노드들로부터 메시지를 수신하면 바로 마지막 병합을 수행한다. 모든 메시지를 수신하지 못하면, ATS-DA는 부모노드의 타임아웃 마진을 자신의 타임아웃에 추가하여 자식노드의 메시지를 기다린다. 추가한 타임아웃이 만료되

면 ATS-DA는 더 이상 자식노드로부터 메시지를 받지 않고, 마지막 병합을 수행하고 센서노드는 다음 주기가 지 슬립한다.

```

procedure ATS-DA (Query from nodepar(i))
// running at nodei;
// extract global parameters from Query & initialize local
// parameters
extract hopCountpar(i), SHDmax, SHDavg, and DV from Query;
hopCounti = hopCountpar(i) + 1;
 $\delta = (SHD_{max} - SHD_{avg})$ ;

while TRUE do:
Timeouti = SHDavg; dvi = MRGi = 0;
start TIMER with Tcur = 0;
repeat
  receive data & MRGchild(i) from nodechild(i);
  do partial data aggregation(curri); update dvi;
  if (received from all child nodes) goto transmit;
until Tcur ≤ Timeouti;

// if data variation is low enough, stop receiving data
if (dvi ≤ DV), then goto transmit; // [C1] & [C2]

// now that an event occurred, set the timeout to SHDmax
// [C3]
// subtract the amount of time used by its child nodes
Timeouti = SHDmax - max{MRGchild(i)};
repeat
  receive data from nodechild(i);
  do partial data aggregation(curri);
  if (received from all child nodes) goto transmit;
until Tcur ≤ Timeouti;

// unless data are received from all child nodes,
// finally, use the timeout margin of its parent node // [C3]
 $MRG_i = \delta/2$ ; Timeouti = Timeouti + MRGi;
repeat
  receive data from nodechild(i);
  do partial data aggregation(curri);
  if (received from all child nodes) goto transmit;
until Tcur ≤ Timeouti;

transmit:
  finally do aggregation with its sensing data;
  previ = curri;
  send curri & MRGi to nodepar(i);
  sleep until next period;
done:
end ATS-DA
    
```

그림 3. ATS-DA 기법

데이터 변동률은 이전 데이터 값(*prev<sub>i</sub>*)과 현재 데이터 값(*curr<sub>i</sub>*)의 변화 정도이다. 데이터 변동률은

$$dv_i = \left| \frac{curr_i - prev_i}{curr_i} \right| \times 100(\%) \quad (1)$$

로 정의된다.

현재 데이터 변동률이 기준 변동률의 범위에 속하는지 판단하기 위해서 ATS-DA는 충분한 샘플수를 가져야한다. 대부분의 메시지가 *SHD<sub>avg</sub>* 내에 도착할 것으로 예상되기 때문에, ATS-DA는 샘플을 얻기 위해 *SHD<sub>avg</sub>* 동안 자식노드로부터 메시지를 기다린다. 데이터 변동률을 이용함으로써, 각 노드의 대기시간은 *SHD<sub>max</sub>*와 *SHD<sub>avg</sub>*의 차 만큼 줄일 수 있다. 깊이가 *n*인 라우팅 트리내의 모든 노드가 데이터 변동률 조건을 만족하면 전체 줄어드는

대기시간은  $n * (SHD_{max} - SHD_{avg})$ 이다.

타임아웃 여유분은 특별한 이벤트가 발생했을 때, 타임아웃 내에 도착하지 못한 자식노드의 메시지를 수신하기 위해 여분의 시간이다. 그림 3에서 설명하였듯이 데이터 병합 주기마다 각 센서노드는 타임아웃 여유분(*MRG<sub>i</sub>*)는 *SHD<sub>max</sub>*와 *SHD<sub>avg</sub>*의 차로 초기화한다. *SHD<sub>max</sub>* 값은 식 (2)에 의해 산출된다[5].

$$SHD_{max} = Max(sd) + Up(td + pd + qpd) \quad (2)$$

식(2)에서 *sd*는 staggering delay, *td*는 transmission delay, *pd*는 propagation delay, 그리고 *qpd*는 queuing & processing delay를 의미한다.

*SHD<sub>avg</sub>*는 반복적인 실험을 통하여 그 값을 얻는다. 데이터 병합을 할 때, 여분의 타임아웃이 필요한 센서 노드는 보다 정확한 병합을 수행하기 위해서 부모노드의 타임아웃 여유분의 반,  $(SHD_{max} - SHD_{avg})/2$  를 사용한다. 타임아웃 여유분을 사용하면 센서노드는 부모노드에 게 사용한 여유분의 양을 알려준다. 부모노드는 자식노드에서 사용된 여유분을 뺀 *SHD<sub>max</sub>* 동안 자식노드의 메시지를 기다린다.

#### 4. 성능 평가

캐스캐이딩 타임아웃 스케줄링 기법과 제안하는 ATS-DA 기법을 비교하기 위하여 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 하였다[11]. NS-2에 포함된 AODV 라우팅 프로토콜과 Message Passing Agent를 수정하여 인-네트워 데이터 병합을 구현하였다. 100개의 노드를 랜덤하게 1000 \* 1000 그리드에 배치하여 시뮬레이션을 수행하였다. 노드의 전송 범위는 50 미터이고 전송 속도는 1Mbps로 설정하였다. MAC 프로토콜은 802.11을 사용하였고 라우팅 프로토콜은 AODV를 사용하였다. 에너지모델에서 수신파워 소모량은 395mW, 송신파워 소모량은 660mW이다[10]. 데이터 패킷의 사이즈는 30bytes로 이다[6].

캐스캐이딩 타임아웃 스케줄링 기법과 ATS-DA 기법을 비교하기 위한 성능비교 척도로 파워 소모량, 데이터 정확도를 사용하였다.

#### 4.1 파워 소모 비교

파워 소모는 센서노드가 송수신하는 메시지 수에 비례한다. 센서 노드의 파워소모는 정지모드에 비해 대기/수신 모드에서 파워소모가 크다. 그림 4는 캐스캐이딩 타임아웃 스케줄링 기법과 ATS-DA 기법의 파워 소모량을 비교한 것이다. 기준 데이터 변동률(*DV*)이 클수록 파워 소모가 적음을 볼 수 있다. *DV* 값이 클수록 노드의 센싱 값이 *DV* 범위에 있을 확률이 높기 때문에, 대기 시간을 줄고 노드가 수신 메시지 수가 줄어들므로 노드의 파워 소모가 작아진다. 시뮬레이션에서 ATS-DA(0%), ATS-DA(5%), ATS-DA(10%)의 파워소

모는 캐스케이딩에 비하여 각각 1.3%, 4.8%, 7.5%정도 5. 결론  
 파워 소모가 작다.

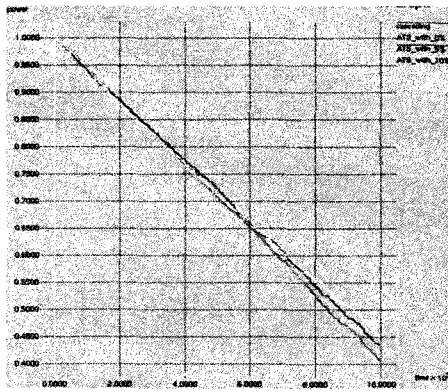


그림 4. 파워 소모

4.2 데이터 정확도 비교

데이터 정확도는 실제 데이터 값( $X_i$ )과 전송된 데이터 값( $X'_i$ )의 상대왜곡(Relative distortion)로 판단한다. 상대 왜곡은

$$RD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X'_i)^2}{N}} \quad (3)$$

으로 정의 된다. 여기서 N은 전체 센서노드의 수이다. 상대왜곡이 크면 정확도가 낮고, 상대왜곡이 작으면 정확도가 높다. 그림 5는 각 타임아웃 기법에 따른 상대왜곡을 비교한 것이다. 데이터 변동률을 작게 설정할수록 작은 상대왜곡, 즉 높은 정확도를 가짐을 알 수 있다. 캐스케이딩 타임아웃 스케줄링 기법의 상대왜곡은 ATS-DA(0%)와 ATS-DA(5%)의 상대왜곡에 비해 훨씬 큼을 볼 수 있다. ATS-DA를 적용한 노드는 타임아웃 내에 자식 노드로 부터 메시지를 받지 못할 때, 상위노드의 여유분을 추가 타임아웃으로 사용하기 때문에 데이터의 정확도가 향상됨을 볼 수 있다. 하지만 ATS-DA(10%)의 상대왜곡은 캐스케이딩 타임아웃 스케줄링 기법의 상대왜곡 보다 크다.

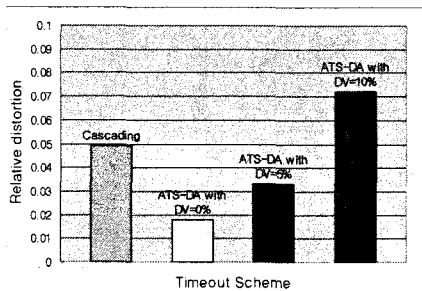


그림 5. 상대 왜곡

본 논문에서는 센서 네트워크에서 데이터 병합을 수행할 때, 데이터 정확도를 유지하면서 에너지를 효율적으로 사용하는 ATS-DA 타임아웃 기법을 제안하였다. ATS-DA는 데이터 변동률을 이용하여 정확도를 유지하면서 에너지 소모를 줄이고 타임아웃 여유분을 이용하여 네트워크의 동적인 변화에 따라 적응적으로 타임아웃을 조절함으로써 타임아웃으로 인한 데이터 손실을 줄인다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법을 실험하였고 기존 캐스케이딩 타임아웃 스케줄링 기법과 비교하였다. 실험 결과에서 파워 소모뿐만 아니라 데이터 정확도 측면에서 성능이 우수함을 알 수 있었다. 따라서 제안하는 기법은 실제 센서네트워크에 적용할 경우 매우 유용할 것으로 사료된다.

Reference

- [1] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, A. Woo, E. Brewer, and D. Culler, "The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS," In First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation, 2004.
- [2] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," Computer Networks, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [3] Y. Yao, and J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks," In Proceedings of CIDR, 2003.
- [4] S. Madden, R. Szewczyk, M. Franklin and D. Culler, "Supporting Aggregate Queries Over Ad-Hoc Wireless Sensor Networks," In Proceedings of 4th IEEE Workshop on Mobile Computing and Systems Applications, 2002.
- [5] I. Solis and K. Obraczka, "In-Network Aggregation Trade-offs for Data Collection in Wireless Sensor Networks," International Journal of Sensor Networks, Vol.1, No.2, 2006.
- [6] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: a Tiny Aggregation Services for Ad-Hoc Sensor Networks," Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation 2002, Dec. 2002.
- [7] S. Motegi, K. Yoshihara, and H. Horiuchi, "DAG based In-Network Aggregation for Sensor Network Monitoring," In Proceedings of the 2005 Symposium on Applications and the Internet, 2006.
- [8] W. Yuan, S. Krishnamurthy, and S. Tripathi, "Synchronization of Multiple Levels of Data Fusion in Wireless Sensor Networks," In Proceedings of GLOBECOM, 2003.
- [9] M. Sharaf, J. Beaver, A. Labrinidis and P. Chrysanthis, "Balancing Energy Efficiency and Quality of Aggregate Data in Sensor Networks," The VLDB Journal, 2004.
- [10] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Feb. 2003.
- [11] VENT, "The Network Simulator NS-2," <http://www.isi.edu/nsnam>, Nov. 2005.