

차량의 데이터 처리 오버헤드를 줄이기 위한 이동 속도와 거리 추정 기반의 센싱 데이터 수집 주기 제어 기법

권지수¹ · 박대진^{2*}

Velocity and Distance Estimation-based Sensing Data Collection Interval Control Technique for Vehicle Data-Processing Overhead Reduction

Jisu Kwon¹ · Daejin Park^{2*}

¹Graduate Student, School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea

^{2*}Assistant Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea

요 약

주변 환경으로부터 직접 데이터를 수집하는 센서 노드는 많은 제약 조건을 가지기 때문에 자원의 효율적인 사용이 필요하다. 본 논문에서는 도로를 주행 중인 차량의 위치 데이터를 수신하는 센서 노드에서, 칼만 필터로 추정된 대상의 속도와 이동 거리 가중치로 데이터 수신 주기를 변경한다. 차량의 속도가 느릴수록 센서 노드의 데이터 수신 주기를 길게 함으로써 전체 네트워크에서 이루어지는 연산 시간을 줄일 수 있다. 제안하는 기법은 MATLAB으로 구현된 교통 시뮬레이터를 통하여 검증하였으며, 기존 방법에 비해 제안하는 기법을 사용하는 센서 네트워크에서 연산에 소요되는 시간이 감소하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Sensor nodes that directly collect data from the surrounding environment have many constraints, such as power supply and memory size, thus efficient use of resources is required. In this paper, in a sensor node that receives location data of a vehicle on a lane, the data reception period is changed by the target's speed estimated by the Kalman filter and distance weight. For a slower speed of the vehicle, the longer data reception interval of the sensor node can reduce the processing time performed in the entire sensor network. The proposed method was verified through a traffic simulator implemented as MATLAB, and the results achieved that the processing time was reduced in the entire sensor network using the proposed method compared to the baseline method that receives all data from the vehicle.

키워드 : 칼만 필터, 센서 네트워크, 교통 시뮬레이션, 속도 추정

Keywords : Kalman filter, Sensor network, Traffic simulation, Velocity estimation

Received 12 November 2020, Revised 13 November 2020, Accepted 15 November 2020

*Corresponding Author Daejin Park (E-mail: boltanut@knu.ac.kr, Tel: +82-53-950-5548)

Assistant Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.12.1697>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

사물 인터넷 네트워크의 말단이자, 사람과의 접점인 센서 노드들은 데이터 수집 대상과의 밀접한 상호작용을 위해 PC나 서버처럼 충분한 자원을 제공받지 못하는 곳에 위치하는 경우가 많다. 따라서, 일반적으로 작은 메모리 크기, 낮은 동작 주파수 등의 제약 조건에서 낮은 에너지 소모를 구현하기 위해 특정한 도메인(domain-specific)의 동작만을 수행하는데 특화된 임베디드 시스템으로 설계된다.

센서 노드에서 디바이스의 한정된 자원을 효율적으로 사용하기 위한 접근법 중 하나는 서버 또는 게이트웨이와의 데이터 송수신을 줄이는 것이다. 센서 노드에서 연산을 담당하는 마이크로컨트롤러의 사양이 발전하고 저전력으로 동작하는 것이 가능해짐으로써 서버와 센서 노드 사이의 데이터 통신 과정에서 발생하는 에너지 소모량이 전체 디바이스 에너지 소모량 중에서 차지하는 비중이 증가하고 있다 [1]. 또한, 센서 노드의 위치 특성으로 인해 무선 통신을 사용하는 경우가 대부분이며, 무선 통신은 외부로부터의 잡음에 취약하다는 단점이 존재한다. 잡음이 포함된 데이터를 수신하여 원래의 무결한 데이터로 복원하려면 추가적인 하드웨어나 시간 지연이 필요하다 [2].

이러한 요인들에 기인하여 센서 노드에서 수집한 데이터에 대해 디바이스 내에서 수행하는 연산을 효율적으로 개선하고, 서버와의 통신 빈도를 줄이는 연구가 지속되고 있다 [3]. 논문에서는 센서 노드의 데이터 수신 주기를 주변 상황 인지하에 효율적으로 변경하여 객체와의 데이터 통신으로 인한 오버헤드를 최소화하고자 한다.

사물 인터넷 네트워크가 적용될 수 있는 분야는 매우 다양하다. 농업, 산업 등 여러 가지 분야 중, 센서 노드와 데이터 통신이 가능한 스마트 차량에 대한 응용의 경우,

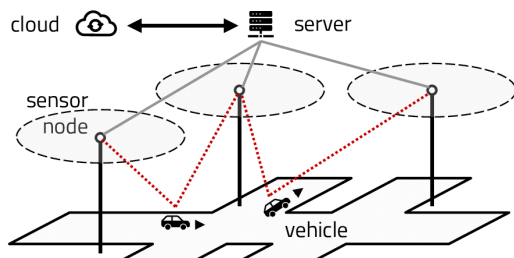


Fig. 1 Sensor network cooperative data collecting from vehicles

그림 1과 같이 센서 노드들이 도로를 주행 중인 차량으로부터 데이터를 수집하고 연산을 거친 데이터를 모아 서버로 전송하는 과정으로 도식화할 수 있다.

스마트 차량 응용의 구성 요소 중, 센서 노드는 차량, 또는 서버에 비해 충분한 전원을 공급받을 수 없는 환경에 위치하므로 에너지 소모를 최소화해야 한다. 따라서 본 논문에서는 차량의 상태에 따라 지능적으로 센서 노드의 데이터 수신 주기를 변경하는 기법을 제안한다. 이전 연구에서는 임의의 이동 경로를 가지는 객체에 대해 2차원 좌표 평면 위에서 여러 개의 센서 노드가 객체로부터 좌표 데이터를 수신하는 상황을 가정하였다. 이때, 센서 노드가 객체로부터 데이터를 수신하는 주기의 간격을 좌표를 기반으로 계산한 거리, 속도의 양자화된 구간으로 나누어 불필요한 연산의 계산량을 감소하였다 [4]. 하지만, 추적의 대상이 되는 객체의 수가 제한되거나 객체의 이동 경로와 속도가 경향성 없이 모델링되었다. 따라서, 실제 차량의 주행 특성과 유사한 도로 모델을 사용한 시뮬레이션이 필요하다.

본 논문에서는 센서 노드가 차량들의 움직임을 포함한 주변 환경을 인지하고, 이에 대응하여 데이터 수신 동작을 효율적으로 변경하기 위해 그림 2와 같이 차량의 이동 거리를 기반으로 데이터 수신 주기를 결정하는 기법을 제안한다. 이동하는 물체에 대한 추적은 다양한 알고리즘으로 수행할 수 있다 [5, 6]. 그 가운데, 잡음이

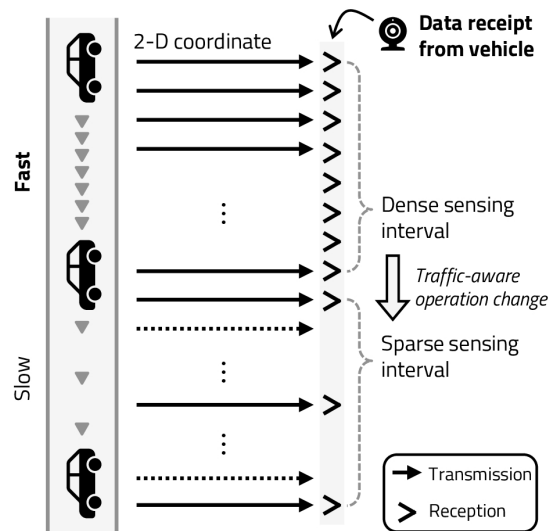


Fig. 2 Traffic-aware based sensor node data reception period change

포함된 환경에 대해 적은 계산량을 가지는 칼만 필터를 본 논문에서의 응용으로 사용한다 [7]. 기존의 연구들은 효율적인 칼만 필터를 위해 연산량을 줄이기 위한 접근법으로 칼만 필터 알고리즘 자체의 개선에 초점을 맞추었다 [3, 8]. 이에 반해, 본 논문에서는 센서 네트워크 응용에 칼만 필터가 사용되었을 때, 에지 디바이스 내에서 이루어지는 칼만 필터 연산의 빈도를 줄이는 방향으로 접근하였다.

차량에서는 일정한 주기로 자신의 위치 데이터를 센서 노드에 전송한다. 반면, 센서 노드는 모든 데이터에 응답하지 않고, 센서 노드 내부 칼만 필터 연산을 통해 추정된 차량의 속도가 빠를수록 더 자주 데이터를 수신한다. 만약 차량의 속도가 느려진다면, 이를 센서 노드에서 인지하고 디바이스의 동작을 변경하여 간헐적으로 데이터를 수신하도록 한다. 이때, 센서 노드에서 기준점이 되는 이동 거리 값을 변경하여 속도가 빠른 차량에 대해 데이터 수신 빈도의 가중치를 부여할 수 있다.

제안하는 기법을 검증하기 위해 사용된 교통 상황 시뮬레이터는 2차원 좌표 평면 위에서 구현된 도로와 교차로 위에 차량이 주행하도록 하였다. 교차로에서 발생하는 차량의 대기는 미리 정의된 정책을 따르도록 하였으며 생성되는 차량의 출발 지점, 경로와 속도는 정해진 범위 내에서 무작위로 결정되도록 하였다. 시뮬레이션 time step이 진행될 때마다 차량의 위치 좌표를 센서 노드로 전달하여 칼만 필터 연산이 수행되는 시간을 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 칼만 필터를 사용한 2차원 속도 추정 과정과 제안하는 이동 거리 기반의 데이터 수신 주기 변경 기법에 대해 설명한다. 그리고 3장에서 실험을 통해 제안하는 기법의 연산 시간 감소 지표를 분석하며, 마지막 4장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 본 론

2.1. 칼만 필터 및 2차원 속도 추정

칼만 필터는 식 (1)과 (2)처럼 선형(linear) 상태-공간(state-space) 방정식으로 나타낼 수 있는 시스템 모델에 적용할 수 있다.

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k \quad (1)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

칼만 필터의 목적은 측정값을 바탕으로 추정값을 계산하고 오차 공분산을 척도로 계산한 추정값의 신뢰 여부를 결정한다. 변수 x_k, z_k, A, H, w_k, v_k 는 각각 $n \times 1$ 상태값 벡터, $m \times 1$ 측정값 벡터, $n \times n$ 시스템 행렬, $m \times m$ 출력 행렬, $n \times 1$ 시스템 잡음 벡터, $m \times 1$ 측정 잡음 벡터로 정의된다. 칼만 필터에서, 시스템에 유입되어 상태 변수에 영향을 주는 잡음 w_k 과 센서로부터 발생하는 잡음 v_k 은 평균이 0인 정규 분포를 따른다고 가정한다. 시스템 행렬 A 는 시간에 따른 시스템 모델의 움직임을 정의하며, 출력 행렬 H 는 측정값과 상태 변수와의 관계를 정의한다.

칼만 필터는 다음과 같은 흐름으로 동작한다. 먼저 오차 공분산 P_k 와 추정값 x_k 의 초기값을 선정한다. 초기값은 칼만 필터 연산을 처음 수행하는 한 번만 필요하다.

$$\bar{x}_k = Ax^{k-1} \quad (3)$$

$$\bar{P}_k = AP_{k-1}A^T + Q \quad (4)$$

식 (3), (4)와 같이, 이전 단계에서 선정한 추정값과 오차 공분산으로 새로운 \bar{P}_k 와 \bar{x}_k 를 예측한다. 변수 Q 는 $n \times n$ 크기의 시스템 잡음 공분산 행렬로 정의한다.

$$K_k = \bar{P}_k H^T (H \bar{P}_k H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

식 (5)는 칼만 이득 K_k 를 계산한다. 이때, 변수 R 는 측정 잡음 v_k 의 $m \times m$ 크기 공분산 행렬로 정의한다.

$$x_k = \bar{x}_k + K_k(z_k - H\bar{x}_k) \quad (6)$$

다음으로 식 (6)에서 입력된 측정값 z_k 와 변수들을 기반으로 추정값 x_k 를 계산한다.

$$P_k = \bar{P}_k - K_k H \bar{P}_k \quad (7)$$

마지막으로 식 (7)에서 추정값의 신뢰도를 보여주는 척도인 오차 공분산 P_k 를 계산한다. P_k 를 검토하여 계산한 추정값의 사용 여부를 결정한다. 계산한 값들은 다시 식 (3), (4)에서 사용되어 전체 과정을 반복하는 것으로 칼만 필터 알고리즘이 동작한다.

본 논문에서는 칼만 필터를 2차원 평면에서의 좌표를 사용한 속도 추정 응용에 적용하려고 한다. 칼만 필터 알고리즘을 사용하기 위해서는 먼저 위치와 속도 사이의 관계를 바탕으로 시스템 모델을 세워야 한다. 차량 객체가 놓인 평면이 2차원이므로, x, y 방향에 대한 위치 p 와 속도 v 를 식 (8)과 같이 상태 변수 x_k 로 정의한다.

$$x_k = [p^x \ v^x \ p^y \ v^y]^T \quad (8)$$

칼만 필터에 측정값이 입력되는 주기를 Δt 로 정의하면, 다음 시점의 차량 위치 $p_{k+1}^{x,y}$ 는 현재 위치 $p_k^{x,y}$ 로부터 추정 속도 v_k 로 Δt 시간만큼 이동한 거리를 더한 것이라는 선형 관계를 알 수 있다. 또한, 속도 v_k 는 시스템 잡음 w_k 에 대해서만 영향을 받는다는 정의로부터 상태 값에 대한 식 (1)을 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_{k+1} \\ v_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_k + v_k \times \Delta t \\ v_k \end{bmatrix} + w_k \quad (9)$$

그리고 상태값 중, 위치에 대해서만 측정하고 있으므로 식 (1), (2)의 시스템 모델을 이루는 성분 A 와 H 행렬을 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

남은 변수 Q 와 R 의 값을 정해주면 칼만 필터 알고리즘을 수행하여 차량의 위치로 추정된 속도 v 를 얻을 수 있다.

2.2. 제안하는 기법

본 논문에서 교통 모델의 차량 객체들과 센서 노드들은 2차원 좌표 평면에 존재한다고 가정한다. 차량으로 간주하는 각각의 객체들은 일정한 주기마다 센서 노드에 현재 시점의 좌표 위치를 전송한다. 센서 노드에서는 수신하는 좌표들로 실제 측정하지 않은 차량의 속도를 추정할 수 있다. 위치-속도 모델은 선형적 시스템 모델이기 때문에 칼만 필터를 적용하기에 적합하다. 센서 노드에 대한 차량 객체의 데이터 전송 주기를 Δt_{tx} 로 정의한다. 센서 노드는 모든 Δt_{tx} 주기마다 데이터를 수신하는 것이 아닌 칼만 필터로 추정된 속도 v_p 에 기반하

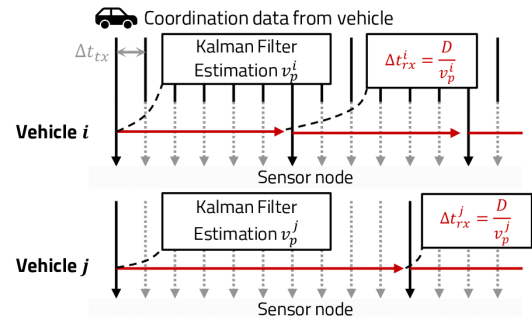


Fig. 3 Proposed data reception interval selecting technique

여 데이터 수신 주기 Δt_{rx} 를 결정한다. 이때 차량 객체의 속도가 더 빠를수록 데이터 수신 주기에 가중치를 부여하기 위해 추정 속도로 일정한 거리 D 를 이동하는데 걸리는 시간을 계산한다. 그림 3과 같이, i 차량으로부터 일정한 주기 Δt_{tx} 로 데이터가 송신되고 있을 때, 센서 노드는 모든 메시지에 대응하지 않고 최근에 수신된 위치로부터 칼만 필터 알고리즘으로 추정된 속도 v_p^i 로 거리 D 만큼 이동하는데 걸리는 시간 Δt_{rx}^i 이 지나야 다음 데이터를 수신한다. 데이터를 수신하지 않은 시점의 속도값은 이전의 값을 그대로 사용하도록 한다. i 차량에 비해 속도가 느린 j 차량의 경우, 동일한 거리를 이동하는데 더 많은 시간이 소요된다. 따라서 같은 방법을 적용했을 때, 수신 주기 Δt_{rx}^j 는 i 차량에 비해 증가한다. 이동 거리를 기준으로 센서 노드의 데이터 수신 주기를 결정하는 방법을 수식으로 나타내면 식 (11)과 같다.

$$v_p^1 \Delta t_{rx}^1 = v_p^2 \Delta t_{rx}^2 = \dots = v_p^i \Delta t_{rx}^i = D \quad (11)$$

1부터 i 까지의 차량 객체가 존재할 때, 각각의 차량들로부터 전송되는 데이터를 수신하는 센서 노드의 주기 $TRIANGLE t_{rx}$ 는 빠른 속도에 부여하는 이동 거리 가중치 D 로 정해진다. 추정 속도가 v_p^i 와 v_p^j 인 두 차량 객체가 존재할 때, D 가 커질수록 센서 노드가 두 차량으로부터 데이터를 수신하는 주기 Δt_{rx}^i 와 Δt_{rx}^j 도 증가한다. 두 주기 사이의 비율 $\Delta t_{rx}^i / \Delta t_{rx}^j$ 은 변하지 않지만, 두 주기의 차이 $\Delta t_{rx}^i - \Delta t_{rx}^j$ 는 D 의 크기와 비례하여 증가하게 된다. 그림 4는 두 차량의 추정 속도 v_p^i, v_p^j 를 각각 2m/s, 5m/s로 가정한 경우에, 기준이 되는 이동 거리 D 를 증가시키며 센서 노드의 데이터 수신 주기

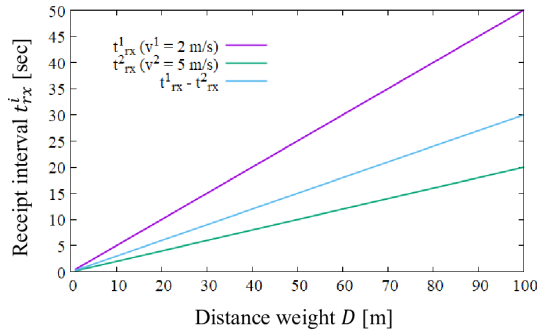


Fig. 4 Change of t_{rx} difference according to increment of distance weight

Δt_{rx}^i , Δt_{rx}^j 와 두 주기간의 차이 $\Delta t_{rx}^i - \Delta t_{rx}^j$ 의 변화하는 양상을 나타내었다. D 가 증가할수록 센서 노드가 두 차량으로부터 데이터를 수신하는 주기 $\Delta t_{rx}^i - \Delta t_{rx}^j$ 도 증가한다.

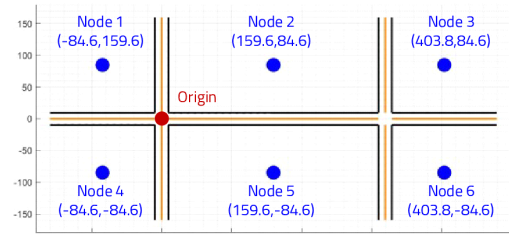
따라서, 이동 거리 D 의 값을 설정할 때, D 의 크기가 증가할수록 추정 속도가 빠른 차량 객체로부터의 센서 노드 데이터 수신 주기 Δt_{rx} 에 더 큰 가중치를 부여하여 간헐적 통신을 하게 된다.

제안하는 기법을 사용하면 센서 노드의 수신 주기가 고정된 상태로 동작하는 것이 아니라, 차량 객체들의 변화하는 속도 환경에 대응하여 데이터 수신 주기를 조절함으로써 디바이스에서 이루어지는 연산의 양을 줄일 수 있다. 하나의 센서 노드에 대해서는 연산량 감소의 수치가 작을 수 있지만, 사물 인터넷 네트워크에 적용되는 대규모 센서 네트워크에서 디바이스마다 오버헤드 감소가 누적된다면 거시적으로 효율적인 연산을 구현할 수 있다.

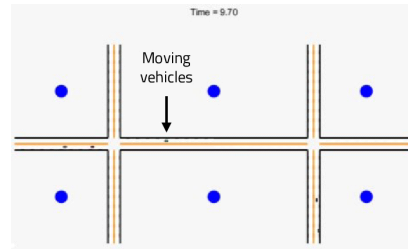
III. 실험

제안하는 이동 거리 기반의 센서 노드 데이터 수신 주기 변경 기법을 실험하기 위해 차량 모델을 MATLAB R2020b로 구현하였다. 실험에 사용된 환경은 Windows 10 64-bit OS, Intel i7-10510U 1.80GHz CPU, 16GB RAM이다.

제안하는 기법을 검증하기 위해 사용한 오픈-소스 시뮬레이터는 그림 5와 같다 [9]. MATLAB으로 작성된 시뮬레이터는, 2차원 좌표 평면 위에 도로와 교차로를



(a) Traffic simulator intersections and sensor nodes placement



(b) Traffic simulation window in progress

Fig. 5 Traffic simulation environment

구현하고, 서로 다른 속도로 주행하는 차량들이 무작위로 도로에 나타나도록 하였다. 그림 5(a)와 같이 시뮬레이션에 사용된 도로와 센서 노드가 배치되었다. 도로의 형태는 2개의 교차로를 가지며 6개의 센서 노드에서 차량의 위치를 수신한다고 가정하였다. 시뮬레이션을 시작하면 그림 5(b)와 같은 화면이 나오며 time step 단위로 도로 위 차량의 이동을 관찰할 수 있다. 도로 위의 교차로에서는 시뮬레이션에서 사용된 신호 정책에 따라 차량이 대기하게 된다.

시뮬레이션에서 차량 객체가 센서 노드로 위치 좌표를 전송하는 주기로 정의된 time step은 0.1이다. 센서 노드에서는 수신한 좌표를 사용하여 속도를 추정하는데, 칼만 필터 알고리즘을 사용하기 위한 식 (4)와 (5)의 Q , R 값은 이전 연구와 동일한 10과 50으로 선택하였다. 그림 6은 센서 노드가 모든 수신 데이터에 대해 칼만 필터 연산을 취하는 경우(Baseline)와 제안하는 기법을 사용한 경우(Proposed), 이동 거리 가중치 D 가 증가함에 따른 연산 소요 시간을 비교한다. 제안하는 기법을 적용했을 때 time step을 200회 반복한 경우에 이동 거리 가중치 D 값에 따른 연산 시간은 평균적으로 6.33% 감소하였고, 300회 반복한 경우는 평균적으로 11.54% 감소하였다. 시뮬레이션의 time step이 200회 반복된 경우는 연산 감소량이 누적되는 시간이 300회에 비해 짧으므로

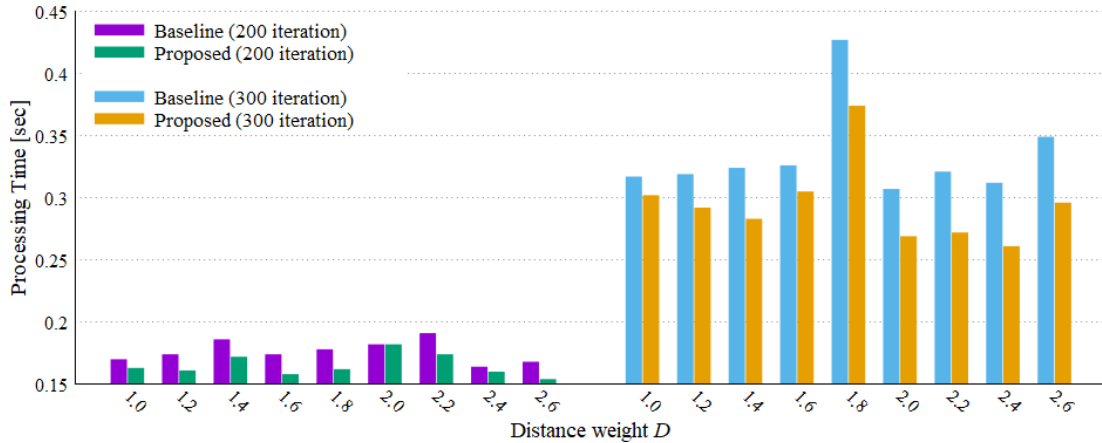


Fig. 6 Processing time measurement results according to change of distance weight D

일부 D 값에서 연산 시간이 감소하지 않고 동일한 경우도 존재한다. 따라서 장시간 센서가 동작해야 하는 환경 일수록 제안하는 기법으로 인한 연산 시간 감소량이 증가하는 것을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 센서 노드에서 이루어지는 연산의 양과 데이터 수신 빈도를 효율적으로 줄이는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 도로를 주행 중인 차량의 이동 거리와 센서 노드 내에서 이루어지는 칼만 필터 연산으로 추정된 차량의 속도를 기반으로 데이터 수신 주기를 상황에 따라 달리 결정한다. 차량이 추정된 속도로 이동 거리 가중치 D 만큼 이동하는 동안 센서 노드에서 데이터 수신을 생략하도록 하였다. MATLAB으로 구현한 교통 시뮬레이터로 검증한 결과, 기존 방법에 비해 전체 센서 네트워크에서의 총 연산 시간이 감소하는 것을 확인하였다. 제안하는 기법이 센서 네트워크에 적용된다면, 장시간 동작하는 환경에서 센서 노드 디바이스에 가해지는 연산 시간의 감소를 기대할 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2019R1A2C2005099), and Ministry of Education (NRF-2018R1A6A1A03025109), and BK21 Four project funded by the Ministry of Education, Korea (Sep. 2020).

REFERENCES

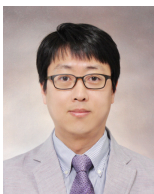
- [1] D. Feng, C. Jiang, G. Lim, L. J. Cimini, G. Feng, and G. Y. Li, "A survey of energy-efficient wireless communications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 167-178, 2013.
- [2] R. Salarifard, S. Bayat-Sarmadi, and H. Mosanaei-Boorani, "A Low-Latency and Low-Complexity Point-Multiplication in ECC," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 65, no. 9, pp. 2869-2877, 2018.
- [3] H. Kirti and R. Keyur, "Energy-Efficient Constant Gain Kalman Filter Based Tracking in Wireless Sensor Network," *Wireless Communications and Mobile Computing*, Apr. 2017.
- [4] J. Kwon and D. Park, "Implementation of Computation-Efficient Sensor Network for Kalman Filter-based Intelligent Position-Aware Application," *International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication*

- (ICAIC), Fukuoka, Japan, pp. 565-568, 2020.
- [5] S. Kim, J. Cho, and D. Park, "Moving-Target Position Estimation Using GPU-Based Particle Filter for IoT Sensing Applications," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 11, 2017.
- [6] K. Ramya, K. P. Kumar, and V. S. Rao, "A survey on target tracking techniques in wireless sensor networks," *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, vol. 3, no. 4, pp. 93-108, 2012.
- [7] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 1, pp. 35-45, 1960.
- [8] M. Raitoharju and R. Piche, "On computational complexity reduction methods for kalman filter extensions," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 34, no. 10, pp. 2-19, Oct. 2019.
- [9] E. Gravelle, "traffic-simulator," 2016. [Internet]. Available: <https://github.com/evangravelle/traffic-simulator>.



권지수(Jisu Kwon)

2019년: 경북대학교 전자공학부 학사
2019년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 석박사통합과정
※ 관심분야: 임베디드 시스템 하드웨어-소프트웨어 설계, 사물 인터넷 네트워크, 저전력 인공지능 칩 설계, 펌웨어 업데이트 최적화



박대진(Daejin Park)

2001년: 경북대학교 전자전기공학부 학사
2003년: KAIST 전기 및 전자공학과 석사
2014년: KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2003년~2014년: SK Hynix/ Samsung (차세대 LSI 설계) 수석연구원
2014년~2016년: 경북대학교 전자공학부 연구조교수 (2014년 대통령 Postdoctoral Fellow 선정)
2016년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 조교수
※ 관심분야: 저전력 SoC 설계, 하드웨어-소프트웨어 Co-design, Dependable 스마트 IoT 시스템, Robust 임베디드 시스템