

가상슬롯 기반의 비동기 거리 추정 기법 개발

고영욱^{1*}, 김환용²

¹엠에스티코리아(주) 전략기획실, ²원광대학교 전자공학과

The development of asynchronous ranging scheme based on the virtual slot

Young-Wook Ko^{1*}, Hwan-Yong Kim²

¹Strategy and Planning Department, MSTKOREA Co., Ltd.

²Dept. of Electronic Engineering, Wonkwang university

요약 거리 추정기법은 노드간 글로벌 동기화의 유무에 따라 동기방식과 비동기방식으로 나뉜다. 일반적으로 비동기 측위 기법이 동기 측위 기법에 비해 글로벌 동기화 고가의 정밀한 오실레이터를 요구하지 않기 때문에 선호되고 있다. 그러나 기존의 비동기 추정기법은 대규모의 인프라로 구성되는 위치 인식시스템에서 각 노드마다 발생하는 패킷에 의해 각 기준 노드들은 위치 파악을 위한 상당한 패킷을 전송해야 하며, 이것은 노드의 수가 증가될수록 네트워크 내의 트래픽의 양이 상당히 증가하게 된다. 이러한 네트워크 트래픽의 증가는 전체 네트워크의 처리량의 감소로 이어지며, 이로 인해 상당한 에너지 손실이 발생된다. 따라서 본 논문에서는 기존의 문제를 해결하기 위하여 다수의 노드들이 분산적으로 랜덤하게 선택한 가상 슬롯을 사용하여 전송함으로써 노드간의 동기를 맞추는데 필요한 오버헤드를 줄이고, 가상슬롯을 기반으로 비동기로 거리를 추정함으로써 네트워크 트래픽을 낮출 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 성능 평가를 통해 매우 낮은 트래픽의 강도에도 불구하고 제안된 거리추정 기법은 TWR과 SDS-TWR보다 오차 범위에 대해 더 강력하다는 것을 입증하였다.

Abstract Ranging is divided into a synchronous scheme and an asynchronous scheme according to the presence of global synchronization between nodes. In general, the asynchronous ranging is preferred over synchronous ranging because it does not require an expensive high-precision oscillator for the global synchronization. On the other hand, in a conventional asynchronous ranging scheme, the packets, which are generated by all nodes in a positioning system of a large-scale infrastructure and need to be sent for localization by reference nodes, are considerable, which cause an increase in network traffic as the number of nodes increases. The traffic congestion lowers the throughput of the network leading to a considerable loss of energy. To solve this problem, this paper proposes a ranging scheme, in which virtual transmission slots randomly and discretely selected by a plurality of nodes are used to reduce the overheads needed in synchronizing the nodes, and the ranging is performed asynchronously based on the virtual transmission slots, thereby decreasing the network traffic. In addition, a performance test proved that the proposed ranging scheme was stronger than the TWR and SDS-TWR on an error range, even though the intensity of traffic was very low.

Keywords : IR-UWB, Location, Ranging, SDS-TWR, TWR, Services, ToA

1. 서론

최근 무선통신 기술 및 센서 기술의 발달로 인해 다양

한 방식의 객체 위치 추정 및 측위 기술에 대한 서비스가 연구되고 있다. 기존 기술과 더불어 투과성이 좋고 실내 환경에 강건하며, 수십 센티미터(cm) 급의 고정밀 측

*Corresponding Author : Young-Wook Ko(MSTKOREA Co., Ltd.)

Tel : +82-70-5055-4233 email : david@mstkorea.co.kr

Received July 27, 2016

Revised (1st August 8, 2016, 2nd August 10, 2016)

Accepted August 11, 2016

Published August 31, 2016

위가 가능하다는 점에서 주목 받고 있는 IR-UWB (Impulse-Radio Ultra Wide Band) 기술은 저비용, 저 전력으로 실내외에서 수십cm급의 정밀한 위치 인식 및 추적 가능하게 함으로써 기존의 카메라 기반의 실내 감시 시스템을 보완할 수 있는 기술로 기대되고 있다[1].

UWB 기술은 1960년대 초에 G. Ross에 의해 제안되었으며, 80년대에 field에서 사용되는 시스템이 개발되어 90년대에는 주로 거리측정, 군사용 목적의 통신기기, 지하내부의 물체 측정 등에 사용되는 시스템들이 개발되어 왔다[2-7]. 즉, UWB는 신기술은 아니며, 원래는 군용 기술로 활용되었고 최근 민간 분야로 확대되어 연구들이 진행되고 있는 기술이다. 원래 UWB는 블루투스, WI-FI와 같은 무선 데이터 통신 기술로 100Mbps 이상의 속도로 넓은 대역의 스펙트럼을 가지는 저전력 초고속 통신이다. UWB의 표준은 IEEE 802에서 규정하고 있는데, 이는 다시 통신을 다루는 IEEE 802.15.3a와 측위를 다루는 IEEE 802.15.4a의 두 그룹으로 나누어지며, IR-UWB는 측위를 다루는 IEEE 802.15.4a를 따른다[1].

실내 측위를 위한 다양한 기술들이 나오고 있지만 아직 뚜렷한 절대 장점이 없다고 할 수 있다. 특히 요즘 주목받고 있는 IoT(Internet of Things) 환경에서 비콘(Beacon) 서비스를 활용한 실내 측위 방법이 정확도 및 활용 측면에서 활용성이 높아지고 있다. 비콘의 경우, 연결 지향성이며, 사용자의 스마트 디바이스의 위치를 찾는 방식으로 이용 가능하므로 객체 추적 이외의 방법으로 사용하기에는 무리가 있는 것이 사실이다.

따라서 본 논문에서는 기존의 비동기 기반의 거리추정 알고리즘의 문제를 해결하기 위하여 다수의 노드들이 분산적으로 랜덤하게 선택한 가상 슬롯을 사용하여 전송함으로써 노드간의 동기를 맞추는데 필요한 오버헤드를 줄이고, 가상슬롯을 기반으로 비동기로 거리를 추정함으로써 네트워크 트래픽을 낮출 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 성능평가를 통해 기존의 비동기 측위 기법과의 비교를 통해 그 성능을 확인 하였다.

2. 본론

2.1 기존 거리추정(Ranging) 알고리즘

IEEE 802.15.4a를 기반으로 하여 RF 상에서 패킷 프레임에 활용하는 이 기술은 극히 짧은 펄스 신호를 방사하여, 목표물에 의해 반사되어 들어오는 시간인

ToA(Time Of Arrival)를 이용하여 목표물의 거리 및 상대적인 속도를 측정하는 방식이다. 참고로 무선 측위 알고리즘은 크게 ToA를 이용하는 방법, TDoA(Time Difference of Arrival)를 이용하는 방법, 그리고 AoA(Angle of Arrival)를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 이중 ToA와 TDoA는 IEEE 802.15.4a의 표준에서 채택하고 있는 방법이다[1]. 실내 측위에서 IR-UWB가 가지는 장점은 캐리어를 사용하지 않고 나노초(Nano second) 이하의 매우 짧은 펄스(Pulse)를 이용하기 때문에 거리 측정 분해능(Resolution)의 정확성이 높다. 하지만 하드웨어가 복잡하다는 단점도 가지고 있어 향후 전망에 대해 단언하기는 어렵다. 활용이 예상되는 분야는 주로 센서 네트워크나, 높은 해상도를 가지는 무선 측위 시스템 등이 될 것이다. 거리 추정기법은 노드간 글로벌 동기화의 유무에 따라 동기방식과 비동기방식으로 나뉜다. 하지만, 동기 방식의 경우 노드간 정밀한 동기화가 필요하고 이를 위한 고가의 정밀한 오실레이터를 요구하기 때문에 소출력 무선 통신을 위한 거리 추정방법에는 유용하지 않다.

가장 대표적인 비동기 거리추정 기법은 TWR(Two-Way Ranging)이다[1]. Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 TWR 기법은 송신 측에서 Ranging 패킷을 보내고 수신측에서 자신이 패킷을 받아서 다시 전송하는 데 걸린 시간을 포함한 Reply를 패킷을 보냄으로써, 송신측에서 이 패킷을 받은 시간에서 수신측 프로세싱 시간을 뺀 시간으로 전파시간(Propagation Time)을 구할 수 있다. 이것은 다음과 같은 수식에 의해 간단히 구해진다.

$$t_{roundA} = 2t_p + t_{replyB} \quad \text{Eq.1}$$

하지만, 이러한 TWR 방식은 두 노드간의 클럭 차에 따라 상당한 오차를 발생시킴으로 SDS-TWR(Symmetric Double-Sided TWR)이 제안되었다[8]. Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 SDS-TWR은 REQ/ACK+REQ/ACK/DATA의 추가적인 메시지의 교환을 통해 양 노드간의 클럭 차를 보상함으로써 오차를 보다 줄일 수 있는 기법이다. 하지만, 지금까지 개발된 대다수의 거리 추정 기법에 관한 연구에서는 주로 거리오차를 줄이기 위한 정밀도에만 초점이 맞춰 진행이 되어왔다. 그러나 대규모의 인프라로 구성되는 위치 인식시스템에서 각 노드마다 발생하는 패킷에 의해 각 기준 노드들은 위치 파악을 위한 상당한 패킷을 전송해야 하며, 이것은 노드의 수가 증가될수록 네

트위크 내의 트래픽의 양이 상당히 폭주하게 된다. 이러한 네트워크 트래픽의 증가는 전체 네트워크의 Throughput의 감소로 이어지며, 이로 인해 상당한 에너지 손실이 발생된다.

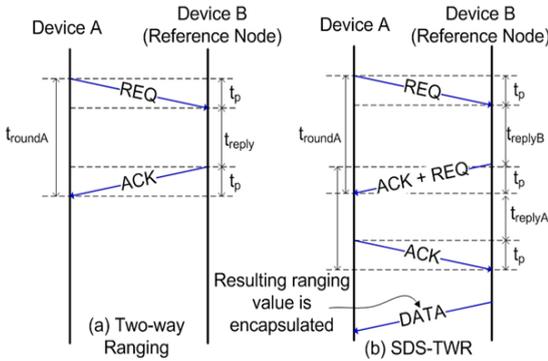


Fig. 1. Conventional asynchronous ranging schemes

2.2 비동기 가상슬롯기반의 거리추정 기법

2.2.1 제안 알고리즘의 특징

앞에서 언급한 기존의 거리 추정 기법의 문제점을 해결하기 위해 다음과 같은 고려사항을 바탕으로 새로운 거리 추정 기법을 제안하였다. 첫 번째로 위치 인식에 참가하는 모든 노드들은 글로벌한 동기화를 맞추지 않는다. 따라서 동기화에 대한 오버헤드가 없다. 두 번째로 매 측위 요청시마다 거리 추정을 위한 트래픽들을 최소화 시킨다. 세 번째로 각 노드가 사용하는 오실레이터의 차이에 의해 발생하는 오실레이터 에러를 최소화 시킨다. 네 번째로 거리 추정하는데 소요되는 지연을 최소화 한다. 마지막으로 알고리즘의 복잡도를 낮춤으로써, 메모리와 프로세싱 능력이 낮은 무선 시스템에 적합하도록 한다.

2.2.2 비동기 가상슬롯기반의 거리추정 기법

제안된 거리추정기법의 기본 아이디어는 유니캐스트로 레인징을 수행하는 기존 기법과 달리 레인징 리퀘스트의 브로드캐스트기법을 사용함으로써 전반적인 트래픽의 양을 대폭 줄인다. 또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 각 리퀘스트에 대한 ACK Reply 전송시 다수의 노드들이 분산적으로 랜덤하게 선택한 가상 슬롯을 사용하여 전송함으로써 노드간의 동기화를 맞추는데 필요한 오버헤드를 없앴다.

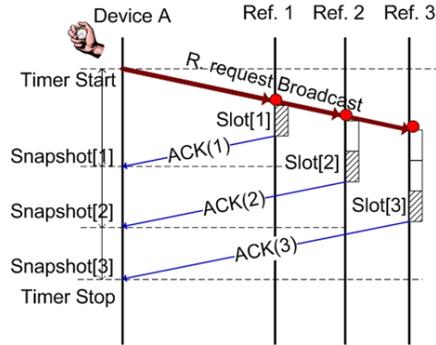


Fig. 2. Proposed virtual slot-based ranging scheme

본 논문에서 제안된 기법에서 사용되는 분산형 가상 슬롯은 경쟁기반으로 이루어진다. 하지만, 캐리어 센싱을 수행할 수 없는 UWB 시스템을 위해 Preamble Sensed Collision Avoidance 방식을 적용한다. 이 모델은 IEEE802.15.4a 표준의 CCA mode 6에 정의되어 있다. 제안된 거리 추정기법은 Fig. 3에서 보는바와 같이 수집구간(Acquisition slot)과 가상슬롯 (Virtual slot)을 한 라운드로 구성하고, 매 리퀘스트마다 해당 라운드가 수행된다. 하지만, 랜덤하게 슬롯을 선택하는 경쟁기반의 모델특성상 한 라운드에 모든 리퍼런스가 ACK를 보낼 슬롯을 선택하지 못할 수 있다. 이런 경우 라운드는 추가로 이어지며, 다음 라운드에서는 같은 Ranging 세션을 위한 추가 Request가 전송되며, 그 패킷 안에 잔여 슬롯의 수가 포함되므로, 그림에서와 같이 최악의 경우에서도 점차적으로 슬롯 사이즈가 줄어들며 모든 노드로부터 ACK를 전송받게 된다.

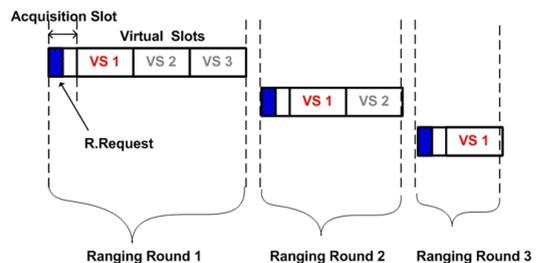


Fig. 3. The structure of the virtual slot

Fig. 4는 제안된 거리 추정기법의 동작 예제를 보인다. 먼저, 모바일 노드의 Ranging Request 브로드캐스트를 받음으로써 라운드가 시작되고, Acquisition 슬롯에서 자신의 ACK를 전송할 가상슬롯을 결정하고, 그림에서와 같이 가상슬롯에서는 전송 전에 정해진 시간동안

CCA를 수행한 후 본 슬롯에서의 다른 노드의 전송이 없음을 확인한 후 전송한다. 만약, CCA 동안 다른 노드의 전송이 감지되면, 바로 나머지 슬롯 중에서 한 슬롯을 선택하여 재시도 한다.

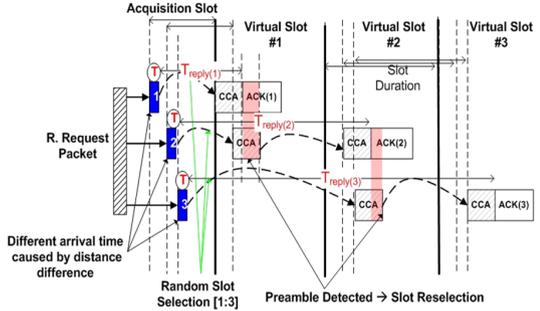


Fig. 4. Operation of the proposed virtual slot based ranging scheme

거리 추정은 Fig. 4에서 보듯이 Request 패킷과 돌아오는 ACK 패킷간의 시간에서 $t_{reply(i)}$ 의 차에 의해 결정된다.

Table 1. Notation

Notation	Description
$t_{p(i)}$	Estimated propagation time from node i
$t_{snapshot(i)}$	Measured round trip time of node i
$t_{reply(i)}$	Time consumed in node i to send back to the device
$t'_{reply(i)}$	Recalculated $t_{reply(i)}$ with respect to the device's clock
$t'_p(i)$	Propagation time which applies $t_{reply(i)}$
$Slot(i)$	A slot number that the node (i) has selected
$Slot_duration$	Slot size (constant)
$t_{Acquisition}$	Acquisition slot size (constant)
$t_{CCA_duration}$	CCA duration (constant)
$t^*_{p(i)}$	Average value of $t_{p(i)}$ and $t'_p(i)$

먼저, 전파시간(Propagation Time)은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$t_{snapshot(i)} = 2t_{p(i)} + t_{reply(i)} \quad \text{Eq.2}$$

$$2t_{p(i)} = t_{snapshot(i)} - t_{reply(i)} \quad \text{Eq.3}$$

$$t_{p(i)} = \frac{t_{snapshot(i)} - t_{reply(i)}}{2} \quad \text{Eq.4}$$

하지만, Eq.4의 $t_{p(i)}$ 값에서 $t_{reply(i)}$ 값은 오직 노드 i

의 오실레이터에 의해 측정된 시간이므로, 디바이스의 오실레이터 값과 보상을 위해 $t_{reply(i)}$ 값은 디바이스에 의해 Eq.5와 같이 다시 계산되어진다.

$$t'_{reply(i)} = (Slot(i) \times Slot_duration) \quad \text{Eq.5}$$

$$+ t_{Acquisition} + t_{CCA_duration}$$

이 값을 적용하여 다음과 같이 $t'_{p(i)}$ 값을 계산한다.

$$t'_{p(i)} = \frac{t_{snapshot(i)} - t'_{reply(i)}}{2} \quad \text{Eq.6}$$

최종적으로, 이 두 값($t_{p(i)}$, $t'_{p(i)}$, 두 노드간의 차이)의 평균값을 사용함으로써, 둘 간의 오차를 최소화 시킨다.

$$t^*_{p(i)} = \frac{t_{p(i)} + t'_{p(i)}}{2} \quad \text{Eq.7}$$

이 Eq.7의 값과 함께 전파속도와 파장과의 관계식에 의해 거리를 추정할 수 있다.

$$d_i = c \cdot \tau = 3 \times 10^8 [m/s] \cdot s \cdot t^*_{p(i)} \quad \text{Eq.8}$$

2.3 Ad hoc 멀티 홉 위치인식 네트워크 프로토콜

본 절에서는 Ad hoc 멀티 홉 위치인식 네트워크 프로토콜과 관련된 세부 사항들에 대해 기술한다.

2.3.1 Event Manager의 설계 및 구현

개발 시스템은 자체 제작된 이벤트 기반의 비동기 Event Manager에 의해 다양한 Application 및 네트워크 프로토콜 관련 Task들을 효율적으로 관리한다. 각 Task들은 User에 의해 정의되는 상태에 따라 각 이벤트에 Matching되는 해당 Handler를 등록하여 자동으로 해당 이벤트에 대한 Task를 수행한다. Fig. 5를 보면 알 수 있듯이 각각의 상태에 따라 Event Manager가 Event를 발생 시키는 것을 볼 수 있다.

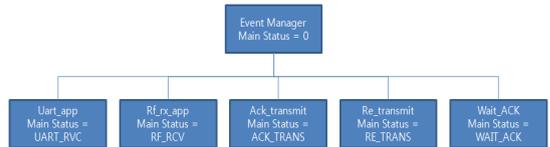


Fig. 5. The structure of event manager

2.3.2 위치인식을 위한 MAC 프로토콜 설계 및 구현

Fig. 6은 기본적인 데이터 패킷구조를 나타내고 있다.

Byte: 1	2	1	2/8	2/8	Variable	2
Length	Frame control	Seq number	Dst Address	Src Address	Frame payload	FCS

Bit: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack Request	PAN ID compression	Reserved	Dst Addressing Mode	Frame Version	Src Addressing Mode

Fig. 6. Format of the data frame

데이터 Frame은 Length, Control Field, Sequence Number, Destination Address, Source Address, Frame Field, FCS로 구성되어 있다. 여기서 Control Field의 값에 따라 Data Type과 Address 모드 그리고 ACK Packet의 전송 여부가 결정된다.

Fig. 7과 같이 ACK는 송신한 Packet을 잘 수신했는지 확인하는 Packet으로 ACK Frame인지 알려주는 Frame Control Field, 어떠한 데이터에 대한 ACK인지를 확인시켜주는 Sequence Number, FCS로 비교적 간단한 Frame Format을 가지고 있다.

Octets: 2	1	2
Frame control	Seq number	FCS
MHR		MFR

Fig. 7. ACK frame format

Fig. 8에서는 Frame Type에 따라 Packet의 Type이 Beacon, Data, Acknowledgement, MAC Command의 4가지로 나뉘는 것을 알 수 있다.

Bit: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack Request	PAN ID compression	Reserved	Dst Addressing Mode	Frame Version	Src Addressing Mode

Frame type value	Description
000	Beacon
001	Data
010	Acknowledgment
011	MAC command
100-111	Reserved

Fig. 8. Format of the frame control field(Frame type)

또한 Fig. 9에서는 Addressing mode에 따라 노드 어드레스가 16bit인지 64bit인지 알 수 있다.

Bit: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack Request	PAN ID compression	Reserved	Dst Addressing Mode	Frame Version	Src Addressing Mode

Addressing mode value	Description
00	PAN identifier and address fields are not present
01	Reserved
10	Address field contains a 16-bit short address
11	Address field contains a 64-bit extended address

Fig. 9. Format of the frame control field(Addressing mode)

이 시스템에서는 충돌 방지를 위하여 CSMA-CA

(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)방식을 이용한 무선 통신이 이루어진다.

CSMA-CA방식은 데이터를 보내기 전에 미리 보낼 채널의 상태를 확인함으로써 무선 데이터간의 충돌을 피하는 방식이다. CSMA-CA의 Flow Chart는 Fig. 10과 같다. 전송할 데이터가 있으면 랜덤하게 백-오프(Back-Off)한 후 채널이 유ힴ상태(Idle)인지 확인하고 만약 채널이 유ힴ상태이면 전송하고, 유ힴ상태가 아니면(Busy) 다시 랜덤한 백-오프 후에 채널 상태를 다시 확인 하는 방식으로 진행이 된다. 이러한 통신 방식을 사용함으로써 안전한 데이터전송은 물론 많은 수의 모바일 노드에도 위치인식 시스템을 적용할 수 있다.

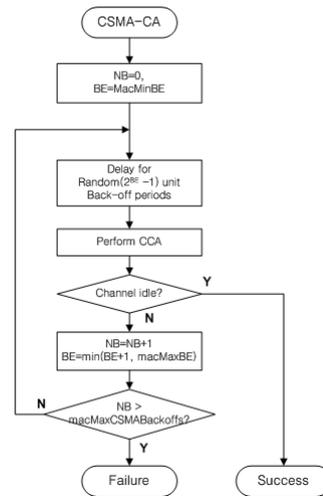


Fig. 10. CSMA-CA flow chart

2.4 제안된 기법의 성능 평가

2.4.1 최적 슬롯 사이즈

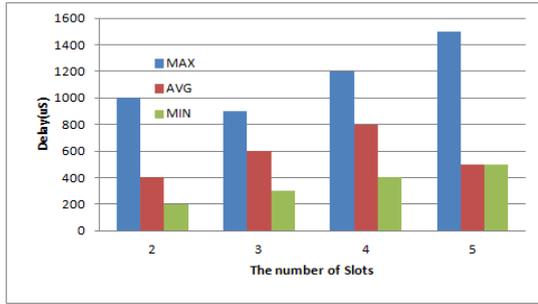
가상 슬롯을 사용하는 제안 기법에서 가상슬롯 개수의 최적화는 불필요한 슬롯을 사용함으로써 야기되는 딜레이를 최소화 할 수 있다.



Fig. 11. The no. of slots used Vs. the no. of required ranging rounds

Fig. 11은 최적화된 가상 슬롯의 수를 구하기 위해 사용되는 슬롯의 수를 2개에서 8개까지 증가시켰을 때의 요구되는 라운드의 수를 관찰결과를 보인다.

또한, Fig. 12는 기준 노드의 수가 3개 및 4개 일 때 각각의 슬롯 수에 따른 Delay 증가를 보인다.



(a) The number of ref. node = 3



(b) The number of ref. node = 4

Fig. 12. The number of slots Vs. delay

2.4.2 거리추정 에러(Ranging Error)

Table 2는 TWR, SDS-TWR, 그리고 제안된 기법의 거리추정 에러를 비교한다.

Table 2. Comparison of ranging error

	t_{reply}	$e_A - e_B$			
		2PPM (ns)	20PPM (ns)	40PPM (ns)	80PPM (ns)
Proposed	1 μ S	0.3	2.5	7.5	17.5
	10 μ S	2.5	75.0	175.0	375.0
	100 μ S	25.0	375.0	625.0	1125.0
SDS-TWR	1 μ S	0.5	5.0	10.0	20.0
	10 μ S	5.0	50.0	100.0	200.0
	100 μ S	50.0	500.0	1000.0	2000.0
TWR	1 μ S	1.0	10.0	20.0	40.0
	10 μ S	10.0	100.0	200.0	400.0
	100 μ S	100.0	1000.0	2000.0	4000.0

Table 2의 결과에서 보는 바와 같이 제안된 거리추정 기법은 TWR에 비해 오실레이터 에러를 보이며, SDS-TWR과 거의 같은 수준의 에러 마진을 보인다.

2.4.3 총 거리추정 지연(Total Ranging Delay)

제안된 기법의 거리추정 지연 성능을 평가하기 위해 같은 환경에서 TWR과 SDS-TWR과의 결과를 비교했다. 특히, 기준 노드 수의 증가에 따른 지연을 관찰했다. Fig 13의 실험 결과에서 보이는 바와 같이 지연측면에서 제안된 기법은 가장 간단히 구현되는 TWR과 거의 비슷한 지연을 보이지만, SDS-TWR에 비해 상당한 지연의 감소를 확인 할 수 있다.

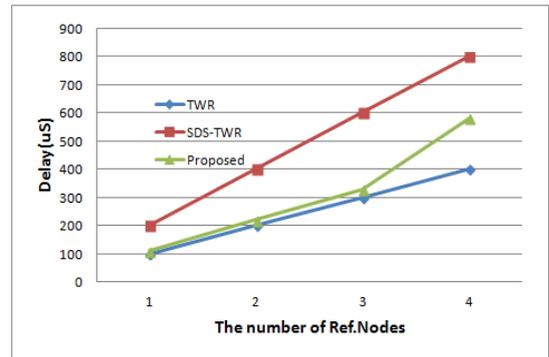


Fig. 13. The number of ref. nodes Vs. delay

2.4.4 트래픽 강도(Traffic Intensity)

트래픽 강도는 유닛시간당 발생하는 평균 트래픽의 양으로 정의된다. 먼저 우리는 Request의 수를 증가함에 따른 초당 평균 트래픽의 양을 측정했다. 또한 같은 환경에서 TWR과 SDS-TWR과의 결과를 비교했다.

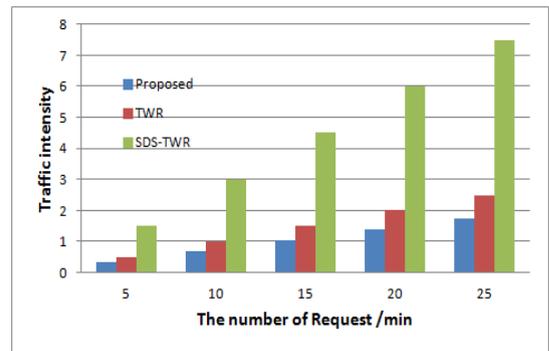


Fig. 14. Comparison of traffic intensity

Fig. 14에서 보는 바와 같이 TWR은 노드당 최소 세 개의 Request 패킷과 세 개의 ACK를 발생시킨다. 또한 SDS-TWR은 Request당 적어도 6×3 패킷을 발생시킨다. 하지만, 제안하는 기법은 단지 한 개의 Request와 세 개의 ACK 패킷만으로 Fig. 12에서 보여준 합리적인 Delay와 함께 거리 추정이 가능하다.

3. 결론

지금까지 개발된 대다수의 거리 추정 기법에 관한 연구에서는 주로 거리오차를 줄이기 위한 정밀도에만 초점이 맞춰진 행이 되어왔다. 그러나, 대규모의 인프라로 구성되는 위치 인식시스템에서 각 노드마다 발생하는 패킷에 의해 각 기준 노드들은 위치 파악을 위한 상당한 패킷을 전송해야 하며, 이것은 노드의 수가 증가될수록 네트워크 내의 트래픽의 양이 상당히 증가하게 된다. 이러한 네트워크 트래픽의 증가는 전체 네트워크의 처리량의 감소로 이어지며, 이로 인해 상당한 에너지 손실이 발생된다.

본 논문에서 제안된 거리추정 기법은 Ranging Request의 브로드캐스트기법을 사용하는 가상슬롯 기반의 비동기 거리추정 기법을 제안하였다. 제안된 거리추정 기법은 글로벌 동기화를 필요로 하지 않고, 낮은 알고리즘의 복잡성을 가지고 있다. 또한 성능 평가 결과를 통해 매우 낮은 트래픽의 강도에도 불구하고 제안된 거리추정 기법은 TWR과 SDS-TWR보다 오차 범위에 대해 더 강력하다는 것을 입증하였다.

References

- [1] IEEE 802.15.4a TG4a, "Part 15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area networks (LRWPANs)", IEEE 802.15.4aTM, Aug. 2007.
- [2] K. Siwiak and M. Franklin, "Advances in Ultra-Wide Band Technology," Radio Solutions, Commonwealth Conference & Events Centre, London, Nov. 6-7, 2001.
- [3] M. G. M. Hussain, "Principles of Space-Time Array Processing for Ultrawide Band Impulse Radar and Radio Communication," IEEE Trans. on Vehicular Tech. 51 pp. 393-403, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2002.1002490>
- [4] J. Ni, D. Arndt, P. Ngo, C. Phan, and J. Gross, "UWB

Tracking System Design for Free-Flyers," AIAA Space 2004 Conference and Exposition, Sept. pp. 28-30, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2514/6.2004-5946>

- [5] J. Ni and R. Barton, "Design and Performance Analysis of a UWB Tracking System for Space Applications," IEEE/ACES Intl. Conf. on Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics, April pp. 3-7, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WCACEM.2005.1469521>
- [6] J. Ni, D. Arndt, P. Ngo, C. Phan, and J. Gross, "UWB Tracking System Design with TDOA Algorithm for Space Applications," NASA/JSC Internal Report, August 2005.
- [7] Hakyong Kim, "Wireless LAN-Based LBS Services", Telecommunications Review, vol. 16, no. 2, pp. 188-202, April 2006.
- [8] R. Hach, "Symmetric Double Sided Two-Way Ranging", IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPAN), 2005.

고 영욱(Young-Wook Ko)

[정회원]



- 1998년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (박사수료)
- 2009년 12월 ~ 2013년 10월 : (주) 엠엠테크 연구소장
- 2013년 11월 ~ 현재 : 엠에스티코리아(주) 전략기획실장

<관심분야>

임베디드 시스템, SoC 설계, 회로 및 시스템

김 환용(Hwan-Yong Kim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1984년 8월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1979년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

임베디드 시스템, SoC 설계, 회로 및 시스템