

무선 센서 네트워크에서 정보 보호를 위한 키 분배 기법

김회복*, 신정훈**, 김형진**

A Key distribution Scheme for Information Security at Wireless Sensor Networks

Hoi-bok Kim*, Jung-hoon Shin**, Hyoung-jin Kim**

요 약

무선 센서 네트워크는 저가의 한정된 자원들을 갖는 수많은 센서 노드들로 구성된다. 보편적으로 대부분의 센서들은 안전하지 않거나 제어할 수 없는 환경에 배치되며, 만일 넓은 목표 지역에 센서 노드들을 무작위로 배치할 때에는 센서 노드들의 정확한 위치를 파악하기 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 효율적인 키 분배 기법을 제안하고자 한다. 이에 제안된 기법을 통해 센서 노드들이 선-분배 된 키들을 사용하여 안전한 링크를 확립한 후 근접한 이웃 노드들과 서로 정보를 교환할 수 있도록 하였다. 또한 제안된 기법에서는 센서 노드의 위치 정보를 이용함으로써 노드 간에 공통-키를 발견할 수 있는 확률을 높일 수 있게 하였다. 마지막으로 성능평가를 통해 우수함을 보이고자 한다.

Abstract

Wireless sensor networks consist of numerous sensor nodes that have inexpensive and limited resources. Generally, most of the sensors are assigned to the hazardous or uncontrollable environments. If the sensor nodes are randomly assigned to the wide target area, it is very hard to see the accurate locations of sensor nodes. Therefore, this study provides an efficient key distribution scheme to solve these problems. Based on the provided scheme, the study enabled the closely neighboring nodes to exchange information with each other after securing safe links by using the pre-distributed keys. At the same time, the provided scheme could increase the probability of multiparty key detection among nodes by using the location information of sensor node. Lastly, the study intended to show the superiority of the limitation method through a performance test.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크(wireless sensor network), 키 분배(key distribution), 센서 노드(sensor node)

• 제1저자 : 김회복 교신저자 : 김형진
• 투고일 : 2009. 05. 29, 심사일 : 2009. 06. 16, 게재확정일 : 2009. 06. 19.
* 군산대학교 전자정보공학부 ** 전북대학교 응용시스템공학부

I. 서론

최근 들어, 무선 센서 네트워크는 군사 목적의 감시, 환자 모니터링, 물체추적, 침입 탐지 등과 같은 다양한 응용에서 광범위하게 사용되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 계산 및 무선통신 기능을 지닌 수많은 센서 노드들로 구성되며, 각 센서 노드들은 다양한 종류의 센싱 데이터를 실제 운영 환경에서 실시간에 획득하여 주어진 네트워크를 통해 최종 사용자에게 신뢰성 있게 전달할 수 있어야 한다. 또한 무선 센서 네트워크는 신뢰성 있는 정보를 제공하고 개인의 사생활을 보호해 주어야 한다. 그런데 이런 신뢰성과 개인의 사생활 보호에는 많은 문제점을 안고 있다[1][2].

첫째, 센서 노드 사이의 통신이 무선의 특성을 가지고 있다. 둘째, 센서 노드들의 자원이 제한적이다. 셋째, 아주 광범위하고 밀집되어 센서 네트워크가 배치된다. 넷째, 고정된 인프라스트럭처가 결여되어 있다. 다섯째, 배치 이전에 네트워크 토폴로지를 알 수가 없다. 여섯째, 네트워크에 속하지 않은 센서들의 물리적인 공격들에 대해 높은 위협성을 갖는다.

이에 대한 해결책으로 효율적인 키 분배 기법이 있다. 따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 위한 효율적인 키 분배 기법을 제안하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 키 분배 기법에 대해 언급하고, 3장에서는 제안 기법을 설계한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 방법이 우수함을 보이고 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 기존의 키 분배 기법

키 분배 기법의 기본 동작은 크게 3단계로 이루어진다. 키 선-분배, 공통-키 발견, 경로-키 확립의 3가지 단계이다. 각각에 대해 알아보면 다음과 같다.

키 선-분배 단계는 어떤 2개의 노드들이 선택된 확률로 최소한 하나의 키를 공유하는 것을 보장하기 위해(예 : 10,000 키들을 포함한 키-풀에서 선택한 단 75 키들이 어떤 key ring에 저장될 필요가 있다.) 단지 적은 수의 키들이 각 센서 노드의 key ring에 배치될 필요가 있다는 것을 보장한다. 또한 키-풀 S로부터 임의로 m개의 키들을 선택하여 각각의 센서 노드내의 key ring에 저장한다.

공통-키 발견 단계는 WSN의 라우팅 계층에 의해 보이는 것처럼 센서 배열의 토폴로지를 확립한다. 2개의 센서 노드들이 키를 공유한다면 노드들 사이에는 링크가 존재하고 이 링크상의 모든 통신은 링크 암호화에 의해 안전하게 된다. 같은

키가 한 쌍 이상의 센서 노드들에 의해 공유되는 것이 가능하다. 왜냐하면 key ring은 같은 키-풀로부터 임의로 선택된 키들을 포함하기 때문이다. 따라서 각각의 센서 노드가 m개의 키들을 저장하고 있을 때, 센서 노드 간에 하나의 공통-키를 발견하여 안전한 링크를 확립한다.

경로-키 확립 단계는 무선통신 범위 내에 키를 공유하지는 않지만 공통-키 발견 단계 후에 2개 혹은 더 많은 링크들에 의해 연결되는 선택된 쌍들의 센서 노드들에 경로-키를 할당한다. 경로-키들은 센서 노드들에 의해 발생되지 않을 필요가 있다. 공통-키 발견 단계가 끝난 후에, key ring상의 많은 키들은 어떤 링크에 사용되지 않고 남겨진다. 따라서 센서 노드는 안전한 경로를 통해 다른 노드와 경로-키를 확립한다 [3][4][5].

III. 제안된 키 분배 기법

본 논문에서 제안하고자 하는 키 분배 기법의 목표는 센서 노드들이 배치 후에 각각의 이웃 노드들과 공통적인 비밀 키를 갖도록 하는 것이다[6]. 따라서 본 논문의 기법은 크게 4 단계로 설계하였다[9].

3.1 초기화 단계

이 단계는 센서 노드들이 배치되기 전에 오프라인으로 수행된다. 제일 먼저 키-풀 S를 그림 1과 같이 $l \times n$ 개의 서브 키-풀 $S_{i,j}(i=1, \dots, l \text{ and } j=1, \dots, n)$ 로 나눈다. 서브 키-풀 $S_{i,j}$ 의 크기는 $|S_{i,j}|$ 라 한다. 나눠진 $S_{i,j}$ 에 대해 각각 배치 그룹 $G_{i,j}$ 에 대응된다. 만일 배치 그룹들이 인접한 위치에 배치된다면 대응되는 서브 키-풀 $S_{i,j}$ 이 서로 이웃으로 정의한다. 키-풀 S를 서브 키-풀 $S_{i,j}$ 로 나누는 것은 근접한 키-풀이 더 많은 키를 공유하도록 하고 서로 멀리 떨어져있는 키-풀은 더 적은 키를 공유하거나 공유하는 키가 전혀 없도록 하기 위해서이다.

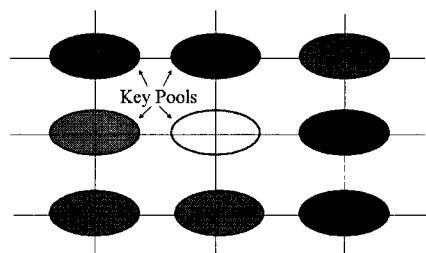


그림 1. 서브 카풀
Fig 1. Subkey-pool

수직이나 수평으로 이웃하는 두 개의 키-풀은 정확히 $a|S|$ 키($0 \leq a \leq 0.25$)를 공유한다. 대각선으로 이웃하는 두 개의 키-풀은 정확히 $b|S|$ 키($0 \leq b \leq 0.25$)를 공유한다. 서로 이웃하지 않는 두 개의 키-풀은 어떤 키도 공유하지 않는다. 그림 2에서 이것을 보이고 있다.

키-풀 $|S|$ 과 중복 인자 α, β 가 주어지면

다음 식에 의해 $|S|$ 이 계산됨으로서 서브 키-풀의 크기가 결정된다.

$$|S| = \frac{|S|}{tn - (2n - t - n)\alpha - 2(tn - t - n + 1)\beta} \dots\dots\dots(3.1)$$

여기서 t 는 시간이고 n 은 개수이다. 키-풀 S 가 서브 키-풀 $S_{i,j}$ 로 나뉘진 후 배치 그룹 $G_{i,j}$ 내에 각각의 센서 노드에 대해, 대응되는 서브 키-풀 $S_{i,j}$ 로부터 n 개의 키를 임의로 선택한 후 노드의 메모리로 로드한다.

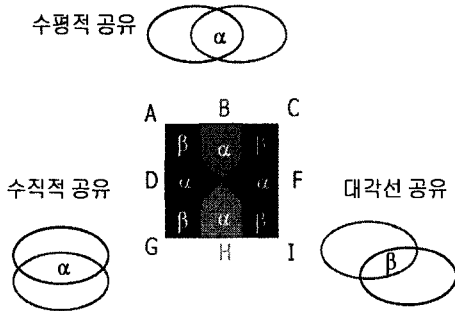


그림 2. 서브 키-풀 사이의 키 공유
Fig 2. Key Exchange between Subkey-pool

3.2 그룹 기반 배치 모델

센서 노드들은 일반적으로 비행기나 기타 운송 장비를 통해 타깃 지역에 배치될 수 있고 배치된 센서 노드들은 서로 간에 안전한 채널을 확립할 수 있다.

센서 노드들은 일단 배치가 되면 움직이지 않는 상태라고 가정한다. 그룹기반 배치를 가정하고 다음처럼 배치 정보를 가정한다.

- 1) 배치되는 N 개의 센서 노드들은 $m \times n$ 개의 동등한 크기의 그룹들로 나뉜다. 각각의 그룹 $G_{i,j}$ ($i=1, \dots, m$ and $j=1, \dots, n$)은 인덱스 (i,j) 를 갖는 배치 지점에 배치된다. (x_i, y_j) 를 배치 그룹 $G_{i,j}$ 에 대한 배치 지점을 나타내도록 한다.
- 2) 배치 지점들이 그리드 내에 정렬된다.
- 3) 배치 동작 중에, 그룹 내의 센서 노드 k 의 배치 지점은 표준 분포 함수 $f(x, y|k \in G_{i,j})$ 을 따른다. 표준 분포 함수의

에는 2차 가우시안 분포이다.

배치 그룹 내의 어떤 센서 노드 k 에 대한 배치 분포는 다음의 2차 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 그룹 내의 (x_i, y_j) 을 배치 지점으로 할 때, 그룹 내의 센서 노드 k 에 대한 표준 분포 함수는 식 (3.2)와 같다.

$$f(x, y|k \in G_{i,j}) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-((x-x_i)^2 + (y-y_j)^2)/2\sigma^2} \dots\dots\dots(3.2)$$

비록 각각의 단일 그룹에 대한 배치 함수가 비-정규이더라도, 센서 노드들이 전체 영역에 동등하게 배치된다고 가정한다. 각각의 배치 그룹의 표준 분포 함수의 σ 의 값과 관련해서 근접한 배치 지점들 사이의 임의의 거리를 선택함으로써, 각각의 작은 영역에서 센서 노드를 찾을 확률이 대략적으로 동등할 수 있다.

3.3 공통-키 설정 단계

기본 기법에서, 어떤 두 이웃노드들은 카설정 단계에서 안전한 링크를 확립하기위해 key rings로부터 단일 공통키를 찾을 필요가 있다. 이 단계에서는 기본 기법에서의 단 하나의 공통키 대신에 q 개의 공통키들이 ($q > 1$) 필요하다.

카설정 단계에서, 그림 3과 같이 각각의 센서 노드는 이웃노드들과 각각과 지나는 모든 공통키들을 발견해야 한다. 이것은 한 노드가 지나는 모든 키 식별자들의 단순한 로컬 브로드캐스트로 달성될 수 있다.

키 발견 후에, 각각의 노드는 최소한 q 키들을 공유하는 모든 이웃노드를 확인할 수 있다.

키들은 오리지널 카풀 S 내에서 발생한 순서를 기반으로 형식 순서로 hash 된다. 카-설정은 q 키들보다 더 작게 공유하는 노드들 사이에는 수행되지 않는다. 새로운 통신 링크 키 K 가 모든 공통키들의 hash로서 발생된다.

$$K = \text{hash}(k_1 || k_2 || \dots || k_q)$$

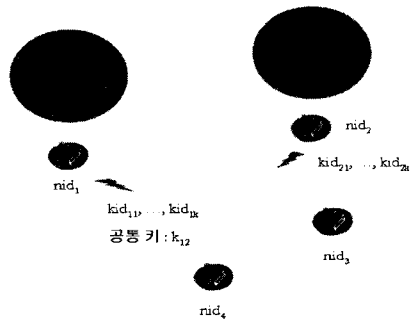


그림 3. 공통-키 설정
Fig 3. Multiparty Key Configuration

3.3.1 key pool 크기의 계산

중요한 파라미터인 키-풀의 크기 $|S|$ 를 계산할 필요가 있다. 만일 키-풀의 크기가 너무 크다면, 어떤 두 개의 센서 노드들이 최소한 q 키를 공유할 확률은 p 보다 낮게 되고 네트워크는 연결되지 않을 수 있다. 만일 키-풀의 크기가 너무 작다면, 쓸데없이 보안성을 희생하게 된다. 어떤 두 개의 센서 노드들이 최소한 q 키를 공유할 확률이 $\geq p$ 가 되는 만큼의 키-풀의 크기를 선택하고자 한다. 어떤 센서 노드가 key ring내에 지닐 수 있는 키들의 수를 m 이라 가정한다. S 로부터 크기 m 인 두 개의 랜덤 샘플들이 최소 p 의 확률로 공통으로 최소한 q 개의 키를 가지기 위해 가장 큰 S 를 찾고자 한다. $|S|$ 를 다음처럼 계산한다. 어떤 두 개의 센서 노드들이 공통으로 정확히 i 개의 키를 가질 확률을 $p(i)$ 라 가정한다. 어떤 한 센서 노드는 크기 $|S|$ 인 키-풀로부터 m 키를 선택하는 $\binom{|S|}{m}$ 의 다른 방법들을 가진다. 따라서 두 센서 노드들이 각각에 대해 m 키를 선택하는 방법의 총 수는 $\binom{|S|}{m}^2$ 이다. 두 개의 센서 노드들이 공통으로 i 개의 키를 가짐을 가정한다. i 개의 공통-키들을 선택하는 $\binom{|S|}{m}$ 의 방법들이 있다. i 공통-키들이 선택된 후에, $|S|-i$ 키들의 남아있는 키-풀로부터 선택되어야 하는 두 개의 key ring내에는 $2(m-i)$ 의 서로 다른 키들이 남아있다. 이 남아있는 키-풀로부터 키들을 선택하는 방법들의 수는 $\binom{|S|-i}{2(m-i)}$ 이다. $2(m-i)$ 의 서로 다른 키들은 두 개의 센서 노드들 사이에 동등하게 나뉘어져야 한다. 그러한 동등한 부분들의 개수는 $\binom{2(m-i)}{m-i}$ 이다. 따라서 공통으로 i 개의 키들을 지니는 두 개의 key ring을 선택하는 방법의 총 수는 $\binom{|S|}{i} \binom{|S|-i}{2(m-i)} \binom{2(m-i)}{m-i}$ 이다.

따라서 어떤 두 개의 센서 노드들이 공통으로 정확히 i 키를 가질 확률다음 식 (3.3)에 의해 계산된다.

$$p(i) = \frac{\binom{|S|}{i} \binom{|S|-i}{2(m-i)} \binom{2(m-i)}{m-i}}{\binom{|S|}{m}} \dots\dots\dots(3.3)$$

어떤 두 개의 센서 노드들이 안전한 통신을 형성하기위해 충분한 키들을 공유할 확률을 $p_{connect}$ 라 가정한다. $p_{connect} = 1 - (\text{두 개의 센서 노드들이 연결을 형성하기 위해 불충분한 키들을 공유할 확률})$

$$p_{connect} = 1 - (p(0) + p(1) + \dots + p(q-1)) \dots\dots\dots(3.4)$$

크기가 m 인 key ring, 최소의 key overlap q , 최소의 연결 확률 p 에 대해, $p_{connect} \geq p$ 만큼의 가장 큰 $|S|$ 를 선택할 수 있다.

3.4 경로-키 확립 단계

두 개의 이웃 노드들은 어떤 공통-키를 노드들 사이에 찾을 수 없을 수도 있다. 이 경우에, 그림 4와 같이 이웃 노드들 간에 공통-키를 합의하기위한 안전한 방법을 찾을 필요가 있다.

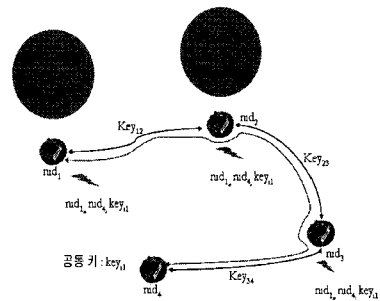


그림 4. 경로-키 확립
Fig 4. Securing Path-key

공통-키를 공유하지 않는 두 개의 이웃 노드들 i 와 j 가 어떻게 비밀 키를 구성하는 지를 보인다. 아이디어는 key-space sharing graph GKS내에 이미 확립된 안전한 채널들을 이용하는 것이다. 그래프가 연결되는 만큼, 두 개의 이웃 노드들 i 와 j 는 GKS내에서 i 에서 j 로의 경로를 항상 찾을 수 있다. i, v_1, \dots, v_h, j 로의 경로를 가정한다. i 와 j 사이에 공통-키를 찾기 위해, i 는 랜덤 키 K 를 먼저 발생시킨다. 그리고 i 는 키를 i 와 v_1 사이의 안전한 링크를 사용해서 v_1 에 보낸다. v_1 은 키를 v_1 과 v_2 사이의 안전한 링크를 사용해서 v_2 에 보낸다. j 가 v_2 로부터 키를 받을 때까지 계속 보내진다. 센서 노드들 i 와 j 는 이 비밀 키 K 를 노드들의 pairwise 키로서 사용한다. 키는 항상 안전한 링크를 통해 보내지므로, 이 키를 알아낼 수 있는 노드들은 이 링크 상에만 존재한다. 센서 노드들 i 와 j 에 대한 안전한 경로를 찾기 위해, 가장 쉬운 방법은 멀티-홉 무선 네트워크에서 일반적으로 사용되는 기법인 flooding[7]을 사용하는 것이다. i 와 j 사이에 3-홉 내에 안전한 경로가 있을 확률은 아주 높다(1에 가깝게). 그러므로 flooding 오버헤드를 줄이기 위해 flooding 메시지의 수명을 3-홉으로 항상 제한할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문은 제안된 기법의 성능평가를 위해 TinyOS의 TOSSIM 시뮬레이터를 사용하였다[8]. 시뮬레이션 환경은 2장의 기존 키 분배 기법의 환경을 기반으로 설정하였다.

성능평가를 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

- ① 센서 네트워크내의 센서 노드들의 수 : 10,000 개.
- ② 배치 지역 : 1000m x 1000m.
- ③ 지역은 크기 100(m x n = 10 x 10)의 그리드로 나뉜다. 각각의 그리드 셀의 크기는 100m x 100m.
- ④ 각 그리드 셀의 중심이 배치 지역.
- ⑤ 각 센서 노드의 무선 통신 범위는 40m.
- ⑥ 센서 노드 배치를 2차원 가우시안 분포를 따라 배치한다고 가정.

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 기존 기법과 키 공유 확률과 노드가 캡처되었을 때 네트워크의 나머지부분이 얼마나 복원되는지와 이웃노드와의 경로 확립을 위해 통신 오버헤드가 어떻게 나타나는지를 비교 분석하였다.

4.1 키 공유 확률

그림 5는 기존 기법과 키 공유 확률에 대해 얼마나 차이가 나는지를 배치 정보를 이용한 제안된 기법과 비교한 것이다. $|S| = 100,000$ 이고 $|Sc| = 1770$ 일 때, 메모리 사용량에 따라 키를 공유할 확률을 보인 것이다.

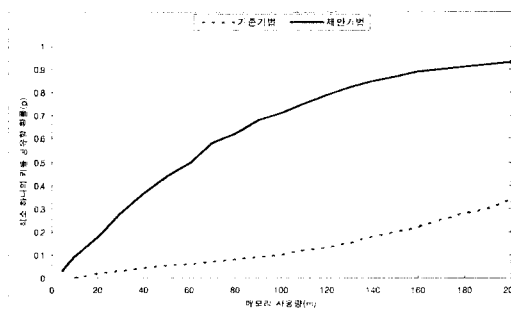


그림 5. 메모리 사용량에 따른 키 공유 확률
Fig 5. Probability of Key Exchange for Different Size of Memory in Use

그림 5의 그래프에 따르면 key ring의 크기 m, 즉 메모리 사용량에 따라 최소 하나의 키를 공유할 확률의 변화를 보면 기존 기법이 10%, 20%의 확률일 때 제안 기법은 65%, 85%의 확률을 보인다. 이를 통해 제안 기법이 기존 기법에 비해서 더 효율적임을 보였다.

4.2 노드 캡처에 대한 네트워크의 복원력

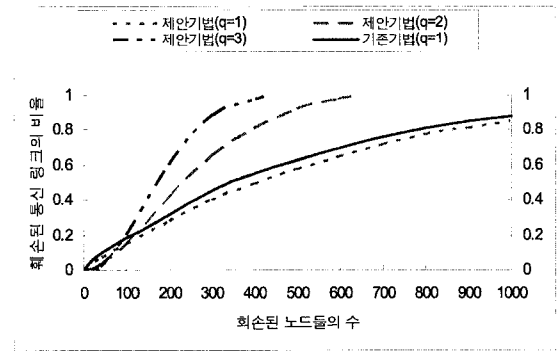


그림 6. 노드 캡처에 대한 네트워크의 복원력($p=0.33$)
Fig 6. Restoring Ability of Networks to Node Capture($p=0.33$)

그림 6은 key ring m의 크기가 200이고 키-설정 확률 $p=0.33$ 일 때, 기존 기법과 손상된 센서 노드들의 수에 대한 손상된 통신들의 비율에 대해 제안된 기법과 비교한 것이다.

그림 6의 그래프를 보면 p는 안전한 링크의 확률이고 q는 key overlap의 양이다. 따라서 훼손된 노드의 수에 따라 훼손된 통신 링크의 비율 변화를 보면 기존 기법($q=1$)이 20%, 40%의 확률일 때 제안 기법($q=1$)은 15%, 33%의 확률을 보인다. 또한 제안 기법의 q값이 커지면 훼손된 노드의 수에 따라 훼손된 통신 링크의 비율이 커지는 것을 볼 수 있다. 그러나 $q=1$ 때는 제안 기법이 기존 기법에 비해서 더 효율적임을 보였다.

4.3 통신 오버헤드

그림 7은 key ring의 크기 m에 대해 3홉 이내인 1,2,3 홉에 대한 확률을 나타내고 있다. 두 개의 이웃 노드들이 공통-키를 찾을 수 없을 때 다른 경로들을 이용해야 한다. 이때 이 경로를 확립하는 데 필요한 홉의 수를 결정하기 위해 $ph(i)$ 확률을 구해야 하며 이것은 두 개의 이웃 노드들을 연결하는 데 필요한 홉의 수가 많아야 3인 확률을 나타낸다.

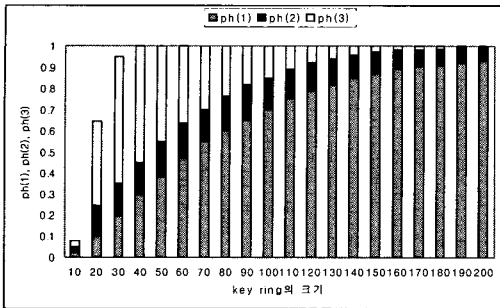


그림 7. 이웃 노드들을 연결하는 데 필요한 홉이 많아야 3 홉인 확률

Fig 7. The Probability of the Required Numbers of Hops to Connect Neighboring Nodes Is Three Hop at Most.

그림 7은 key ring의 크기 m 이 0에서 200까지 증가함에 따라 두 개의 이웃 노드들을 연결하는 데 필요한 홉의 개수가 m 이 증가할수록 홉의 개수가 적게 필요하게 되어 m 이 200에 가까워지면 단 1홉으로서 두 개의 이웃 노드들을 연결하는 데 성공할 수 있음을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 정보 보안 서비스 제공을 위한 키 관리 방법으로서 효율적인 키 분배 기법을 제안하였다. 센서 네트워크에서는 센서 노드들이 안전하지 않은 지역에 배치되고 센서 노드에 다시 접근하는 것이 쉽지 않아 공격자에 의해 센서 노드들이 물리적인 공격에 노출될 수 있다. 최악의 경우에는 들리지 않고 센서 노드의 제어권이 공격자에게 넘어가서 보안을 위해 필요한 비밀 암호-키들이 손상될 수 있다.

본 논문에서는 이를 위해 제안된 기법을 통해 센서 노드 간에 키를 확립하는 방법을 제안하여 공격자가 센서 노드의 제어권을 쉽게 얻을 수 없도록 하여 센서 노드 간에 키 확립이 안전하게 이루어지게 되어 안전한 링크를 통해 데이터가 송수신될 수 있도록 하였다. 또한 제안된 기법에서는 센서 노드의 위치 정보를 이용함으로써 정보를 교환하는 센서 노드 간에 공통-키를 발견할 수 있는 확률을 높일 수 있도록 하였다. 마지막으로 성능 평가를 통해 기존의 키 분배 기법에 비해 본 논문에 제안된 기법이 연결성(약 50%)과 복원력(약 6%)에 관해 성능이 개선됨을 보였다.

참고문헌

- [1] L. Eschenauer and V. D. Gligor, "A key-management scheme for distributed sensor networks," in Proceedings of the 9th ACM conference on Computer and communications security, pp. 41-47, 2002.
- [2] H. Chan, A. Perrig, and D. Song, "Random key predistribution schemes for sensor networks," in IEEE Symposium on Security and Privacy, Berkeley, California, pp. 197-213, 2003.
- [3] Wenliang Du, Jing Deng, Yunghsiang S. Han, Shigang Chen and Pramod Varshney, "A Key Management Scheme for Wireless Sensor Networks Using Deployment Knowledge," Proceedings of the IEEE INFOCOM' 04, pp.586-597, 2004.
- [4] D. Liu and P. Ning, "Establishing pairwise keys in distributed sensor networks," in Proceedings of the 10th ACM Conference on CCS, pp. 52-61, October 27, 2003.
- [5] S. A. Camtepe, B. Yener, "Key Distribution Mechanisms for Wireless Sensor Networks : a Survey," Technical Report TR-05-07, March 23, 2005.
- [6] W. Du, J. Deng, Y. S. Han, and P. K. Varshney, "A pairwise key pre-distribution scheme for wireless sensor networks," in Proceedings of the 10th ACM Conference on Computer and Communications Security(CCS), pp. 42-51, October 27-31, 2003.
- [7] C. E. Perkins, Ed., Ad Hoc Networking. Addison-Wesley, 2001.
- [8] S. Madden, J. Hellerstein, W. Hong, "TinyDB: in-Network Query Processing in TinyOS", <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/tinydb.pdf>, 2003.
- [9] 김희복 "무선 센서 네트워크를 위한 적응형 랜덤 키 선-분배 기법에 관한 연구", 군산대, 학위논문, 2007

저자 소개



김희복

2005년 군산대학교 전자정보공학부
공학사

2007년 군산대학교 전자정보공학부
공학석사

관심분야 : 무선 센서 네트워크, 유비
쿼터스, RFID



신정훈

1982년 숭실대학교 전자계산학과 공학사

1991년 충북대학교 전산통계학과 이학석사

1999년 충북대학교 전자계산학과 공
학박사

1992년 3월 ~ 2008년 2월

익산대학 컴퓨터과학과 교수

2008년 3월 ~ 현재

전북대학교 응용시스템공학부 교수

관심분야 : 멀티미디어 DBMS, 임베
디드 시스템, 무선 센서
네트워크



김형진

1997년 호원대학교 전자계산학과 이
학사

1999년 군산대학교 정보통신공학과
공학석사

2004년 군산대학교 정보통신공학과
공학박사

2004년 9월 ~ 2005년 3월

군산대학교 전자정보공학부 계약교수

2005년 4월 ~ 2008년 2월

익산대학 정보통신과 조교수

2008년 3월 ~ 현재

전북대학교 응용시스템공학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어 DBMS, 멀티
미디어 통신 시스템, 무선 센서 네트
워크, 복한통신