

TDoA 기반의 랩탑 도난 방지 기법

이준성, 이진규

성균관대학교

{acuworld, jinkyu.lee}@skku.edu

Anti-Theft Technique for Laptop based on TDoA

Junseong Lee, Jinkyu Lee

SungKyunKwan University

요 약

다양한 센서가 내장되어 도난 방지를 구현하기 쉬운 스마트폰과 달리 노트북은 별다른 센서가 장착되어 있지 않아 도난 방지 구현에 어려움이 있다. 본 논문에서는 노트북에 장착된 스피커와 마이크를 사용하여 소리의 TDoA와 Multipath Propagation 특징을 이용해 노트북의 도난 방지를 구현한다. 스피커에서는 주기적으로 일정한 소리를 방출하며 마이크는 이 소리를 수집한다. Multipath Propagation에 의해 마이크에는 반사된 동일한 소리가 여러 번 수집되게 되는데, 가장 먼저 들어온 소리(Directly Propagated)와 두 번째로 들어온 소리(Shortest Reflected)의 도착 시간 차이를 TDoA로 역산하여 책상과 떨어진 거리를 추정하고, 이 값이 일정 거리 및 시간을 초과하면 도난으로 판정하여 소유자에게 알리도록 한다.

1. 서 론

노트북의 도난 방지를 위한 방법으로 Kensington Security Slot의 사용이 유일하게 제시되고 있다. 이는 물리적인 수단으로써 잠금 장치의 구조로 노트북의 도난을 방지하는 제품이다. 하지만 항상 체인을 들고 다녀야 하는 번거로움이 있으며, 최근 출시되는 노트북들은 외관상 이유로 Kensington 락이 제공되지 않는 경우가 많아 노트북 도난 방지의 새로운 대안이 제시되어야 할 필요성이 있다.

스마트폰은 내장된 센서가 다양하기에 이를 이용하여 소프트웨어로 도난 방지를 구현하기가 용이하다. GPS 센서를 이용해 탈취자의 위치를 파악하거나, 혹은 부득이하게 GPS를 사용할 수 없더라도 가속도 센서를 통해 이동 위치를 추정하는 방식을 사용할 수 있다. 반면 노트북에는 스마트폰처럼 고도화된 센서가 장착되어 있지 않아 소프트웨어로 도난 방지를 구현하기가 어렵다. 하지만 모든 노트북에 공통적으로 장착된 장치인 스피커와 마이크를 이용한다면 소프트웨어로 도난 방지를 구현할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 노트북의 스피커와 마이크를 이용하여 소프트웨어로 도난 방지 기능을 구현한다. 이 과정에서 소리의 특성 두 가지가 사용되는데, 소리의 전파 시간(ToA)과 다중 경로 전달(*Multipath Propagation*)이다. 소리가 전달되는 경로의 길이에 따라 도착 시간이 달라지는 성질을 이용해 TDoA 기법으로 시간으로부터 거리를 계산할 수 있다. 또한 소리가 주변 사물에 반사되는 성질을 이용해 노트북이 책상에 놓여져 있는 지 떨어져 있는 지를 구분할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 3장에서 본 논문

사용된 소리의 두 가지 특성에 대해 자세히 설명하며 4장에서는 제시하는 기법에 대해 단계별로 설명하고 5장에서는 이 기법을 실제로 적용하여 실험을 진행한 결과에 대해 서술한다.

2. TDoA & Multipath Propagation

본 논문에서는 소리(Sound)가 가지는 특징 두 가지를 이용하여 노트북의 위치를 파악한다.

첫 번째로, 스피커와 마이크의 거리에 따라 소리의 *Time of Arrival(ToA)*이 달라지는 특징을 이용하여 시간으로부터 거리를 역산하는 *Time Difference of Arrival(TDoA)* 기법을 사용한다. 서로 다른 신호원, 즉 노트북의 스피커 두 개에서 동시에 발산된 신호는 하나의 마이크에 수집되며, 각 신호의 수집된 시간을 바탕으로 거리를 역산할 수 있다.

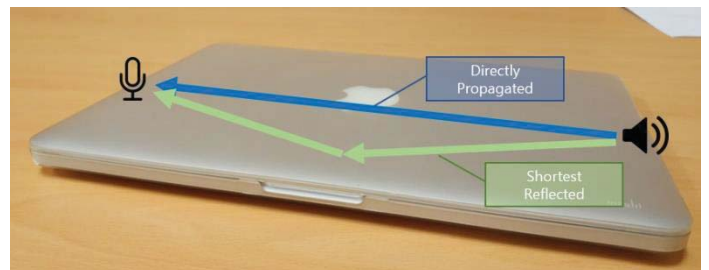


그림 1. Multipath Propagation (1st, 2nd)

두 번째로, 소리의 전달 과정 중에 소리가 여러 사물에 반사되어 동일한 신호가 시간차를 가지고 마이크에 여러 번 수집되는 *Multipath Propagation* 특징을 사용한다. 수집된 소리를 살펴보면 동일한

파형이 여러 번 기록된 것을 알 수 있는데, 소리가 전파된 경로의 길이에 따라 도착 시간이 달라지게 된다. 그림 1에서 보여지는 것처럼, 첫 번째로 도착한 소리는 발생원으로부터 수집원까지의 직선으로 전달된 Directly Propagated Sound이며, 두 번째로 도착한 소리는 Reflected Sound 중에서 가장 짧은 Propagation Path를 가진 소리이다. 본 논문에서는 Shortest Reflected를 노트북 바로 아래의 책상에 반사된 소리로 간주한다.

3. 관련 연구

스마트폰 분야에서는 일찍이 소리의 특성을 이용한 논문들이 다양하게 제시되고 있다. 그 중 TDoA 기반의 논문으로는 스마트폰이 짧은 거리를 이동했을 때 주변 스마트폰들 간의 ToA가 달라지는 점을 이용해 서로 간의 위치를 특정할 수 있는 기법[1]이나, 스마트폰의 상단과 하단 마이크를 동시에 이용하여 공격자가 타인의 키보드 입력을 탈취하는 기법[2]이 존재한다. Multipath Propagation 특성을 이용한 논문으로는 Structure-borne Propagation과 Airborne Propagation을 시간 축 기준으로 분리하여 Structure-borne Propagation만을 가지고 스마트폰 화면의 터치 압력 감지를 구현하는 기법[3]이 존재하며, 방출된 소리가 주변 사물에 부딪혀 돌아올 때 각 장소마다 서로 다른 Acoustic Feature를 갖는 점을 이용하여 Indoor Location Tagging을 구현한 논문[4]이 존재한다. 이처럼 스마트폰 분야에서 다양하게 진행된 논문들을 참고하여 다양한 기법들을 노트북에서 구현하였다.

4. System Design

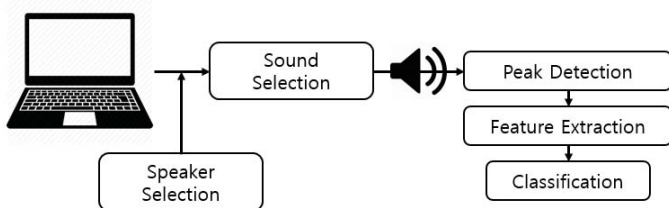


그림 2. System Overview

본 논문에서 제안하는 기법은 그림 2와 같이 단계별로 구성되어 있다. 시스템이 동작하기 전 준비 단계로써 좌우 스피커 중 어떤 스피커를 사용할 지 선택하는 Speaker Selection, 어떤 소리를 재생할 지 선택하는 Sound Selection, 그리고 녹음된 소리에서 Peak를 찾아 시간 차이를 추출하고 이를 기반으로 노트북의 상태를 추정하는 3단계의 프로세스로 구성되어 있다.

4.1 Preliminary

노트북의 스피커는 노트북의 좌우 끝에 장착되며, 디스플레이 부분이 아니라 키보드가 설치된 것과 같이

책상 쪽 부분에 장착된다고 가정한다. 이는 소리의 스테레오 이미지를 구현하기 위해 스피커 간의 거리를 최대한 멀게 유지해야 하며, 사람의 양 쪽 귀에 각 스피커가 소리를 1:1로 전달해야 하기 때문이다. 하지만 마이크의 위치는 제조사마다 다를 수 있으며, 이 부분에 대해서 선행 처리가 필요하다.

또한 본 논문에서는 계산 편의를 위해 노트북의 화면 비율을 16:9로 가정하였으며, 13인치 노트북을 기준으로 서술하였다.

4.2 Speaker Selection

소리의 전파 속도는 매우 빠르기 때문에 거리 예측의 정확성을 높이기 위해서는 스피커와 마이크의 거리를 최대로 유지해야 한다. 따라서 좌우 스피커 중 마이크로부터 거리가 더 멀리 떨어진 스피커를 사용하도록 한다. 좌우 스피커에 동시에 서로 다른 주파수의 소리를 재생하고 마이크에 어떤 주파수가 먼저 도착했는지를 판단하여, 나중에 도착한 주파수에 해당하는 스피커를 최종 사용할 스피커로 결정한다. 만일 동시에 두 주파수가 도착한 경우 스피커의 정중앙에 마이크가 위치했다고 할 수 있으므로 이 경우는 임의의 스피커를 선택하여 이용해도 결과가 동일하다.

4.3 Sound Selection

본 논문은 소리를 이용하여 구현되는 관계로 이용자의 불편을 초래할 수 있다. 따라서 사람이 들을 수 없는 비가청 대역, 즉 18~22kHz 주파수 범위에서 임의의 주파수를 이용하도록 한다. 또한 소리의 Duration이 너무 길면 첫 번째로 도착한 파형과 두 번째로 도착한 파형이 서로 겹치게 되어 도착 시간을 분별할 수 없게 된다. 따라서 충분히 짧은 Duration을 요구하는데, 44,100hz 샘플레이트 환경에서 15cm의 거리 차이를 유지하려면 약 19샘플의 Duration을 가져야 한다. 위 규칙들에 따라 결정된 소리는 일정한 주기를 가지고 반복 재생된다.

본 논문에서는 18kHz와 44,100hz 샘플레이트를 사용하였으며, 이는 필요에 따라 추후에 사용자가 변경할 수 있다.

4.4 Peak Detection & Feature Extraction

소리가 마이크에 들어온 시점을 알아내기 위해 녹음된 소리 데이터 내에서 Peak를 판별해야 한다. 이는 [2]에서 이용한 Energy Level과 Sliding Window 기법을 이용하여 계산할 수 있다.

Peak를 계산하기 위해 녹음된 소리 데이터를 Energy Level로 변환해야 한다. 여기서 Energy Level은 window 크기 안의 Signal Amplitude의 제곱으로 정의한다. 가장 큰 Energy Level을 Peak로 판정한다. 시간 t 에서의 Energy Level A 를 구하는 공식은 다음과 같다:

$$A(t) = \sum_{n=t}^{t+W} r^2(n) \quad \text{식 (1)}$$

W 는 Sliding Window의 크기이며 $r(n)$ 은 n 시간에서의 Signal Amplitude이다. 본 논문에서는 W 값을 적절히 20샘플로 설정하였다.

Multipath Propagation 성질에 의해서 소리는 전달 과정 중 여러 사물에 반사되어 동일한 파형이 서로 다른 시간에 마이크로 도착한다. 이 때 가장 먼저 도착한 소리는 최단 거리, 즉 스피커에서 마이크로 Directly Propagated 소리이며 2번째로 도착한 소리는 반사된(Reflected) 소리 중에서 가장 짧은(Shortest) 소리, 즉 노트북이 놓여진 책상에 반사된 소리로 가정할 수 있다. 1st와 2nd에 도착한 파형의 시간 차이를 샘플 단위로 계산하여 시간 차이를 얻어낸다.

4.5 Classification

본 논문에서는 노트북이 책상으로부터 10cm 이상 떨어지면 도난 발생으로 간주하는데 이 값은 사용자가 변경할 수 있고, 감지 민감도의 의미를 가지고 있다.

노트북의 기종과 화면 크기, 마이크의 위치에 따라서 TDoA로 구해진 거리의 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 노트북 규격을 기준으로 Threshold를 설정하고자 한다. 기준으로 삼은 규격은 16:9 화면비와 13인치 디스플레이, 그리고 마이크와 스피커가 각각 좌우 끝에 위치한 경우이다.

피타고라스의 정리에 의해 16:9 화면비의 경우 디스플레이의 대각선 길이 비율은 18.35가 된다. N인치 디스플레이의 가로 길이를 구하는 공식은 아래와 같다:

$$18.35 : 16 = N : \text{width} \quad \text{식 (2)}$$

$$\text{width} = 0.872N(\text{inch}) = 2.214N(\text{cm}) \quad \text{식 (3)}$$

위 공식에 따라 13인치 디스플레이의 가로 길이를 구하면 약 29cm가 된다. 노트북이 바닥에서 10cm 떨어졌을 때를 계산해 보면 마이크와 스피커가 좌우 끝에 배치되어 있으므로 노트북 너비의 절반이 삼각형의 밑변이 되며 삼각형의 높이는 10cm가 된다. 이 때 대각선의 길이의 두 배가 Reflected Path의 길이가 된다. 공식은 아래와 같다:

$$L = 2 \sqrt{\left(\frac{1}{2} \text{width}\right)^2 + (10\text{cm})^2} \quad \text{식 (4)}$$

여기서 L은 Reflected Path의 길이이다. 13인치 디스플레이를 기준으로 계산하면 $L = 35.22\text{cm}$ 이다. 따라서 노트북이 책상으로부터 10cm 떨어질 경우 1st와 2nd의 TDoA는 6.22cm가 된다. 이를 공식으로 정의하면 다음과 같다:

$$\text{diff} = \text{width} - L \quad \text{식 (5)}$$

4. 실험 및 결과

실험 환경은 MacBook Pro 13인치 모델이며 44,100hz 샘플레이트, 볼륨 50% 환경이다.

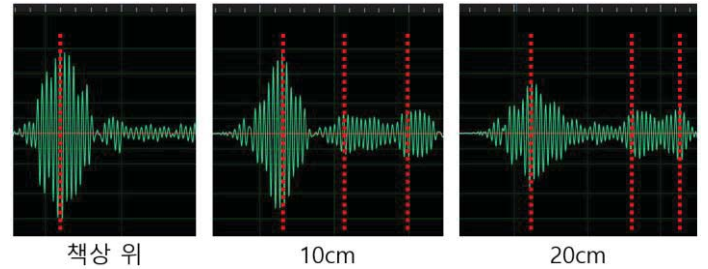


그림 3. 거리 별 1st와 2nd의 Peak

실험 결과, 이론상으로 제시된 거리와는 다소 상이한 TDoA 샘플 차이를 보였다. 다만 책상과의 거리에 떨어짐에 따라 1st와 2nd의 간격이 벌어지는 경향성은 유지가 되는 점으로 보아, 측정상의 오차로 생각된다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문을 진행하면서 소리의 특성을 파악하고 이를 이용하는 방법에 대해 연구하였다. 별도의 하드웨어 장착 없이 노트북에 내장된 장치로 새로운 기능을 구현하는 것이 만족스러웠다. 다만 이론과 실제 실험 결과가 다소 상이하여 추후 오차를 줄이기 위한 정밀한 이론을 보완할 여지가 남아 있다.

Acknowledgement

이 논문은 정부(미래창조과학부,교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2017R1A2B2002458,NRF-2016R1D1A1B03930580). 이 논문은 또한 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음(2015-0-00914).

참고 문헌

- [1] Han, Hao, et al. "Amil: Localizing neighboring mobile devices through a simple gesture." Computer Communications, IEEE INFOCOM 2016-The 35th Annual IEEE International Conference on. IEEE, 2016.
- [2] Liu, Jian, et al. "Snooping keystrokes with mm-level audio ranging on a single phone." Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM, 2015.
- [3] Tung, Yu-Chih, and Kang G. Shin. "Expansion of human-phone interface by sensing structure-borne sound propagation." Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. ACM, 2016.
- [4] Tung, Yu-Chih, and Kang G. Shin. "EchoTag: accurate infrastructure-free indoor location tagging with smartphones." Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM, 2015.