

加速度センサ付き省電力小型マイコンと機械学習を用いた簡易防犯システム

中川 真史^{†1,a)} 小野 智義^{†1,b)} 潘 振雷^{†1,c)} 張 嘉袁^{†1,d)} 嵯峨 智^{†1,e)}

概要: 近年, 防犯意識の向上とともに, より簡便な防犯システムが求められるようになりつつある. そこで我々は加速度センサ付き省電力小型マイコンと機械学習を用いた簡易な防犯システムを提案する. 本システムは加速度センサ付き小型マイコン, 振動情報をサーバへ中継する中継器, 振動信号を解析しユーザへ通知を発行するための機械学習器サーバ, 通知を受け取るユーザアプリケーションからなる. ユーザは, 自宅のドアや窓に振動が発生した場合, ドアや窓が開いたこと, 訪問者にノックをされたことによる振動情報を加速度センサ付き小型マイコンが取得し, 中継器を介して機械学習サーバへ送信する. サーバは構成された学習器による分類結果をユーザへ通知する. ユーザは本システムからの通知により振動発生とその推定結果を知ることができる, これにより, ユーザが侵入者との鉢合わせを回避を期待できる. 本稿では, 本システムの設計および実装, 評価について述べる.

Easy Security System based on Accelerometer-included Wireless Microcomputers and Machine Learning

MASAFUMI NAKAGAWA^{†1,a)} TOMOYOSHI ONO^{†1,b)} ZHENLEI PAN^{†1,c)} JIAYUAN ZHANG^{†1,d)}
SATOSHI SAGA^{†1,e)}

Abstract: In recent years, easier security system have been required with the improvement of residents' crime prevention awareness. Therefore, we propose Easy Security System based on Accelerometer-included Wireless Microcomputers and Machine Learning. This system consists of small microcomputers with acceleration sensors, a repeater relaying vibration information to the server, a machine learner server for analyzing the vibration signal and issuing notifications to the user, and a user application receiving notifications. We show the security system which monitors vibrations of the doors or the windows, using the wireless acceleration sensors and analyzes the cause of the vibrations. When vibrations are generated on the door or the window of the house, a small microcomputer with an acceleration sensor acquires the information of the vibration and transmit it to the machine learner server via the repeater. The server informs the user of the result of the classification. The user can know the occurrence of a vibration and its estimation by the notification. We expect users can avoid encountering the intruders. In this paper we describe the design and implementation of this system.

1. 背景

近年, 潜在事件の顕在化とともに防犯に対する意識向上

が望まれるようになりつつある. 例えば, ストーカーの相談件数は上昇傾向にあり, ストーカーによる被害事例として, 以下のような報告がある. 居住者が外出中に施錠されているドアや窓などの開閉を試みる, 家に帰宅するとき, ドアや窓から侵入し待ち伏せされるなどである. そのような不安から防犯対策として, 防犯カメラなどの設置やホームセキュリティを導入するなどが考えられる. 一方, ホームセキュリティ等の大規模な犯罪抑止システムは一人暮ら

^{†1} 現在, 筑波大学

Presently with

a) s1620660@u.tsukuba.ac.jp

b) s1620611@u.tsukuba.ac.jp

c) s1620720@u.tsukuba.ac.jp

d) s1620712@u.tsukuba.ac.jp

e) saga@cs.tsukuba.ac.jp

しなど小さな家庭での導入はあまり進んでいない。これは防犯システムの初期コストが高額であり、工事が必要で設置の手間がかかる一方、効果が理解しにくいことに大きく起因する。[1]

このような状況を打破すべく身近なデバイスを用いた簡易的な防犯システムの研究として Sharma, et al. [2] は Android と GSM を利用した家庭用セキュリティシステムを提案している。しかし、これらはセンサが Android 頼みであるため、自由な個所に取り付け振動を取得することはできない。なぜなら、Android の充電は数日も維持できないことを考慮すると、充電コードを繋げたままの利用または定期的に充電する必要があるためである。電源を繋いだ状態で窓や壁に取り付けることは現実的ではない。そこで我々は家庭における最外部であるドアや窓を対象とし、簡便に設置可能であり、さまざまな信号を取得可能な加速度センサ付き省電力小型マイコンと、機械学習による信号の同定を組み合わせたシステムを簡易的な防犯システムとして提案する。本システムにより、ドアや窓で発生する振動を取得、振動から推定される事象を機械学習により分類し、ユーザに通知する。本稿では提案システムの設計、実装および動作検証について詳述する。

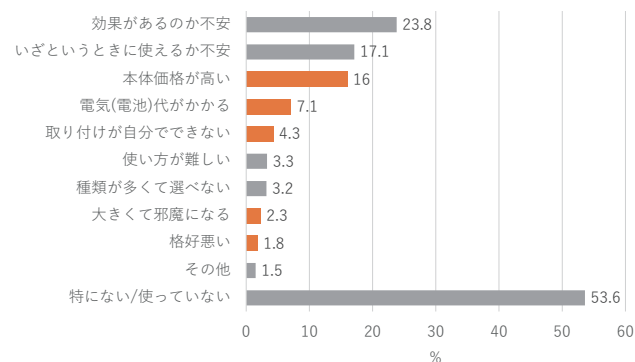


図 1 防犯アンケート: 使っている (使っていた) 防犯グッズ, システムに対する不満 [1]

2. システム

ここでは提案するシステムの概要について、設計指針および実装方法の観点から詳述する。提案システムの一連の流れを以下に示す (図 2)。

2.1 システム設計

本提案システムは家庭における最外部であるドアや窓を対象とし、簡便に設置可能であり、さまざまな信号を取得可能な加速度センサ付き省電力無線マイコン (以下、センサノードと呼ぶ)、機械学習による信号の同定を組み合わせたシステムにより簡易的なセキュリティシステムの実現を目指す。そのため、必要な条件をここで確認する。

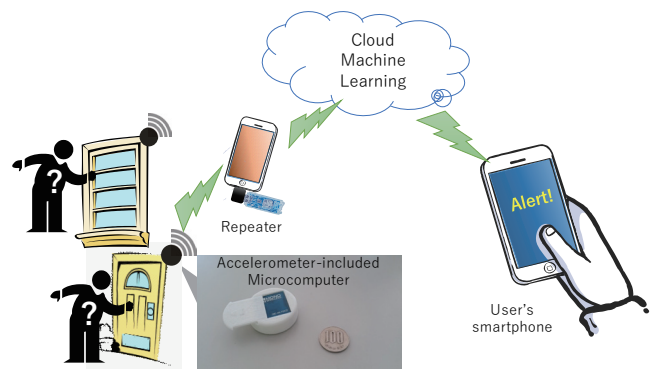


図 2 システム概要図

2.1.1 ZigBee [3] によるセンサノード構築

センサノードが利用する無線規格として ZigBee を採用した理由は、省電力を実現するためである。一方で、類似の技術として Bluetooth Low Energy (BLE)[4] があげられる。こちらも同じく省電力な無線規格であるが、我々は以下に述べる ZigBee の BLE に対する優位性により、ZigBee を採用した。

- スリープからの復帰時間が短いこと
- 接続距離が 30 m と BLE より 3 倍長いこと
- 複数のセンサノードを利用することでデータの中継ができ、接続距離が 30 m 以上となること

2.1.2 スリープ機能

センサノードにおける省電力化のため、ZigBee を用いることに加え、加速度センサにスリープ機能を追加した。スリープ機能は、設定した閾値を超えないときに、加速度の測定周波数を下げる機能である。以下に詳細を記述する。スリープ時は 8 Hz で加速度を測定し、設定した閾値を超えているかを監視する。測定した加速度が閾値を超えた時は、スリープから復帰し、閾値を超えた地点から 5 秒間の振動を 500 Hz で測定し、中継器へ送信する。なお、日本国内で利用可能な ZigBee は 2.4 GHz 帯を利用しており、この周波数では最大 250 Kbps、安定した通信のためには 144 Kbps の転送速度となる。このセンサノードの無線送信容量の制約により、高周期での計測値の送信には向かない。そこで、10 個の加速度計測値をひとつの packet とし、1 packet の加速度データを 5 秒間送信する方式を採用した (図 3)。これにより、ZigBee 通信の上で、3 軸加速度センサ計測値の 500 Hz での送信を実現した。



図 3 packet 構造: Δt はシステム起動からの経過時間、 x_i, y_i, z_i は 10 個の連続した測定値をあらわす。

2.1.3 学習器

現在、機械学習のための学習器は、多くの成功をおさめている Deep Learning[5] をはじめとし、さまざま知られて

いる。ここではそれぞれの学習器の特徴を確認し、本研究において採用すべき学習器を選定する。

Deep Learning[5]

学習時には大量のデータと多くの計算により、複数の隠れ層による重みづけを更新することでさまざまなクラス分類を実現する。計算量が多くなる傾向にあるため、GPUなどを用いた実装をされることが多い。適用する対象などにより、多くの派生手法が存在する。

Support Vector Machine (SVM) [6]

学習時には特徴量の空間距離がもっとも離れるように複数のクラスをわけの適切な Support Vector を計算する。分類時には、計算された Support Vector により、新しい入力データ点を教師データのクラスと比較し、特徴の類似しているクラスに分類する。

k-近傍法 (k-nearest neighbor algorithm [7])

新しい入力データ点から k 番目に近い教師データ点との距離が閾値より長ければ「異常」短ければ「正常」とする異常検知である。このため、「正常」と「その他」を分類するのに適している。

以上が多く用いられる学習器の特徴である。本研究では家庭における最外部であるドアや窓を対象とし、防犯を目的としたシステム構築を目指している。そのため、必要なことはピッキングや窓への細工など、「普段」とは異なる事象を「普段」の事象から「異常」として分類することである。この目的に合致する学習器として、本研究では k-近傍法を採用した。

2.1.4 通知機能の実装

本システムでは、上記の学習器により「正常」「異常」と分類された結果をユーザに通知する。これは、外出中のユーザに家の中で起きている事象をリアルタイムに通知するためである。今回は、ユーザへの使い勝手を考慮し、通知の実装は、Android と iPhone ユーザ双方へ行った。Android では Google Cloud Messaging for Android [8] を利用し、実装した。iPhone では、既存サービスである Push7 [9] を利用し、実装した。

3. 実装

振動データ収集からユーザへの通知までの流れを以下に示す。まず、センサノードで振動をセンシングする。振動は、設定した閾値を超える振動が発生した場合に中継器に送信される。送信される振動は、閾値を超えた時刻点から 5 秒間の振動である。次に、中継器ではセンサノードからの振動を受信する。そして、受信した 5 秒間の振動をサーバへ送信する。そして、サーバでは受信した 5 秒間の振動を解析（異常検知分類による振動原因の特定）する。最後に、その特定した振動原因を利用者のスマートフォンに通知する。振動原因の例としては、「ドアが開閉した」や「ドアがロックされた」などである。

上記で説明したシステムの構成要素は以下の 4 つである。

- 振動をセンシングするセンサノード
 - 振動をセンサノードから集め、サーバへ送信する中継器
 - 振動を解析するサーバ
 - 振動検知の通知を受け取るスマートフォン
- 構成要素の詳細を、以下で述べる。

センサノード

センサノードでの加速度サンプリング周波数を約 500 Hz とした。これは剛体に発生する振動の周波数特徴を捉えることが可能なサンプリング周波数である。我々のシステムは加速度センサノードを、ドアや窓などの剛体に貼り付けることを想定している。

中継器

センサノードでセンシングした振動を収集し、サーバに送信する。センサノードにおいて ZigBee という無線規格を採用することで、省電力化を実現する。この省電力化により、ボタン電池交換の手間を少なくすることが可能になる。しかし、ネットワークの違いのため、ZigBee ネットワークからインターネットを繋ぐためには、中継器が必要になる。ネットワークの違いを意識せずに実装可能な手段としては Wi-Fi や公衆回線などを利用する方法が考えられる。これら Wi-Fi などでインターネット上のサーバに直接振動を送信する場合を考える。この方法では、ZigBee ネットワークに比較して、格段に消費電力が大きくなるため電源線を用いて電力供給する必要が出て来る (mbed, raspberryPi など)。この場合、電源線のとりまわしのため、振動を解析するサーバでは、センサノードでセンシングした振動を異常検知・分類する。異常検知・分類については、以下の実装の節で詳細に述べる。利用者はスマートフォンへの通知により、振動原因を知ることが可能である。

データ解析

行動推定の方法について以下に示す。

- (1) 中継器タブレットから送られる振動データを K 近傍法で異常検知
- (2) 分類判定
 - I). 振動データを異常だと判定した場合、「異常」とユーザへ通知
 - II). 振動データを正常だと判定した場合、クラス分類結果（ドアが開いた、など）をユーザへ通知

今回は、複数の正常状態を扱うことが可能であること、また、パラメータ・計算量が比較的少ないことから、振動データの異常検知として k-近傍法を採用した。

なお、我々の正常・異常状態の定義は、我々が予め想定でき、データを準備することが可能状態を「正常」

我々が予め想定できない、かつ、データを準備することができない状態を「異常」とした。

4. 評価実験

以下の図は各学習器の実験とその結果である。正常・正例は、ドアを開けた時の振動、異常・負例は、施錠されたドアを開けようとしたときの振動を表す。約8割の異常検知・分類性能となった。

表 1 混同行列: k 近傍法
F 値:0.80

		予測値	
		正例	負例
正解	正例	25	5
	負例	6	24

表 2 混同行列: SVM
F 値:0.82

		予測値	
		正例	負例
正解	正例	26	4
	負例	8	22

5. 付属アプリケーション

これらのシステム実装、および評価に加え、ユーザビリティを考慮し、我々は、「ラベル付けアプリ」というアプリケーションを開発した。ドアの材質などユーザの本システム利用環境が多様なため、ユーザ個人によって、振動データの特徴が変化すると想定している。例えば、同じ「ドアの開閉」というクラスの振動であっても、ユーザ個人によって振動データに独特な特徴が出てくる可能性がある。ユーザに、振動データにクラスラベル（正解）を付けてもらい、そうして新しくできた教師データ（正解付きデータ）を機械学習に用いると、個人ユーザ専用の分類器ができあがる。分類器の分類性能向上を目的として「ラベル付アプリ」を開発した。

6. 実証実験

本システムの有用性を示すため、一人暮らしの女性3名を対象とした評価実験を行った（図4、図5）。この評価実験では本システムを設置した上で3日間通常通りに生活してもらい、実験後にアンケートに答えていただいた。アンケートにより、有用性を示せた点と改善しなければならない点が見えたため、それを以下にまとめる。有用性を示せた点として、「1人暮らしの女性に対して良いサービスである」や「家の状況が監視できるので、安心感がありました」という意見を頂いた。これより、振動が発生したときに、発生原因を特定できる本システムの有用性を示せたのではないと思う。しかし、改善しなければならない点として「ドアを開閉しているのに、異なる分類結果が通知される」という精度面での問題も見えた。この精度面の問題は、分類器の学習環境と実運用環境において、ドア・窓の材質、サイズが異なることに起因している。この問題を解決するため、実運用環境上で生じた振動を学習データとすることができる、各ドア・窓専用の分類器を作成する機能

を追加していく。現在は各設置場所において振動を収集できる仕組みは実現できている。そのため、今後は取得したデータから専用の分類器を作成できる仕組みの構築を目指す。また、「寝ているときに通知では気付かない」という意見を頂き、振動を検知した場合、屋内に設置してある中継器から警報を促す仕様に変更した。これにより、ユーザが侵入されたことに対して気付くことが可能になるだけでなく、侵入者への威嚇可能なシステムへと改良された。評価実験で得られた意見をもとに、今後更なるユーザビリティ向上を実現していく。



図 4 実証実験時の様子



図 5 分類推定の通知画像

7. まとめと今後の課題

本稿では家庭における最外部であるドアや窓を対象とし、簡便に設置可能であり、さまざまな信号を取得可能な加速度センサ付き省電力小型マイコンと、機械学習による信号の同定を組み合わせたシステムにより簡易的な防犯システムを提案した。無線通信に ZigBee を利用することで省電力、長距離通信およびマルチノード接続を実現した。また、通信方式を適切にデザインすることで通信をしながらの 500 Hz 程度の加速度計測を実現した。さらに、k-近傍法を利用した機械学習により、80%程度の分類性能で振動情報を分類可能なことを示した。今後はユーザテストを通じてシステムを改善するとともに、多くのデータ収集や他の学習方式との組み合わせなどにより精度向上を目指す。

参考文献

- [1] インターワイヤード株式会社. 『防犯対策』に関するアンケート, 2010. <http://www.dims.ne.jp/timelyresearch/2010/100401/> (accessed on 24 December 2016).
- [2] Rupam Kumar Sharma, Ayub Mohammad, Himanka Kalita, and Dhiraj Kalita. Android interface based gsm home security system. In *Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 2014 International Conference on*, pp. 196–201. IEEE, 2014.
- [3] ZigBee Alliance. Base device behavior specification. Technical report, ZigBee Alliance, 2016. <http://www.zigbee.org/> (accessed on 24 December 2016).

- [4] Smart Card Alliance. Bluetooth low energy (ble) 101: A technology primer with example use cases. Technical report, Smart Card Alliance, 2014.
- [5] Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. Deep learning. *Nature*, Vol. 521, No. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [6] Corinna Cortes and Vladimir Vapnik. Support-vector networks. *Machine learning*, Vol. 20, No. 3, pp. 273–297, 1995.
- [7] Naomi S Altman. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, Vol. 46, No. 3, pp. 175–185, 1992.
- [8] Google Inc. Google cloud messaging. <https://developers.google.com/cloud-messaging/> (accessed on 24 December 2016).
- [9] GNEX Ltd. Push7. <https://push7.jp/> (accessed on 24 December 2016).