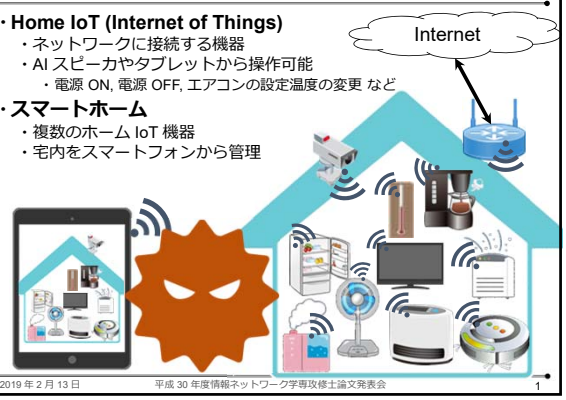
Anomaly Detection in Smart Home Network by Inspecting Exceptional Operations on IoT Devices using User's Daily-Life Behavior Learning

大阪大学 大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻 博士前期課程２年

山内 雅明

IoT, スマートホーム

- **Home IoT (Internet of Things)**
  - ネットワークに接続する機器
  - AI スピーカやタブレットから操作可能
    - 電源 ON, 電源 OFF, エアコンの設定温度の変更 など
- **スマートホーム**
  - 複数のホーム IoT 機器
  - 宅内をスマートフォンから管理



IoT 機器への不正操作攻撃

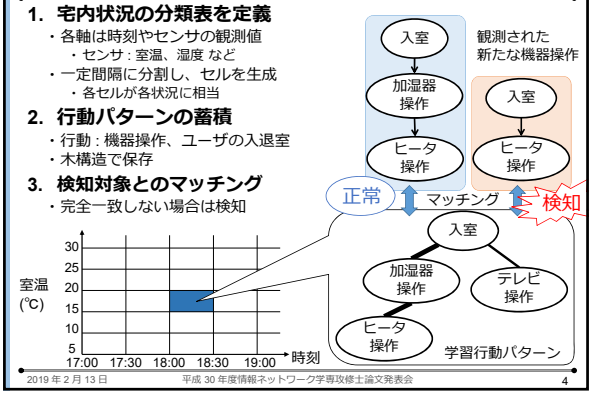
- **第三者による操作パケットの送信**
  - ユーザへの重大な被害
    - 例 : ヒータの不正操作による火傷や火災
    - 例 : テレビを勝手に操作されることによるユーザへの不安感
- **パケットのパターンパッチングによる検知が困難**
  - 正常な操作に用いるプロトコルに従って通信
  - 乗っ取られたスマートフォンや AI スピーカを経由

研究目的とアプローチ

- 研究目的
  - **IoT 機器に対する不正操作攻撃の検知**
- アプローチ
  - **宅内の状況ごとの行動パターンを学習**
    - 状況 : 時刻や観測したセンサ値をもとに分類
    - 行動パターン : 機器操作などのユーザの行動の順序
    - ユーザは状況に応じて行動
      - 例 : 寒いとき、ヒータ ⇒ 加湿器と操作
    - 学習結果と一致しない機器操作を異常として検知
  - **家庭内のゲートウェイで学習、検知**
    - ゲートウェイは宅内外の機器操作パケットを監視可能

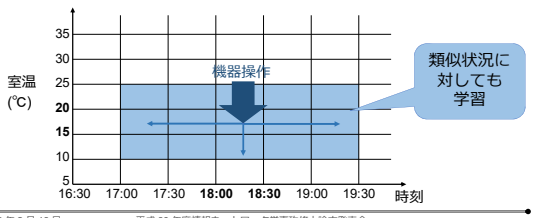
行動パターンの学習と検知

1. **宅内状況の分類表を定義**
   - 各軸は時刻やセンサの観測値
     - センサ : 室温、湿度 など
   - 一定間隔に分割し、セルを生成
     - 各セルが各状況に相当
2. **行動パターンの蓄積**
   - 行動 : 機器操作、ユーザの入退室
   - 木構造で保存
3. **検知対象とのマッチング**
   - 完全一致しない場合は検知



スモールデータの学習

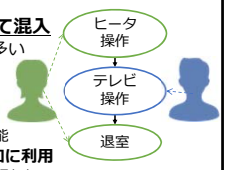
- 問題点
  - **各状況における機器操作回数が非常に少ない**
    - ユーザが機器を操作する回数が限られている
- アイデア
  - **類似した状況に対しても同時に学習**
    - ユーザは似たような状況下で同じ行動を行う

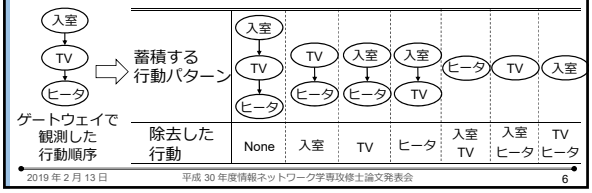


ノイズとなる他ユーザの機器操作の除去

・問題点
- **・他のユーザによる操作がノイズとして混入**
  - ・家庭内にはユーザが複数いることが多い

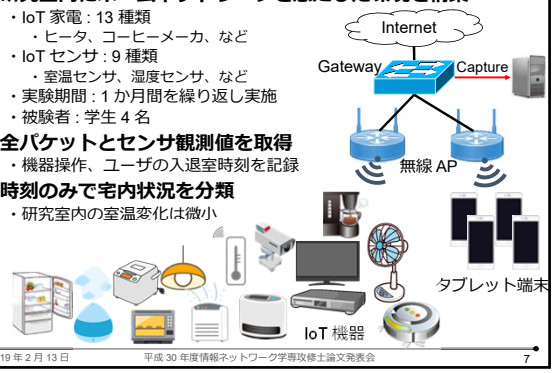
・アイデア
- **・ノイズを除去した多種の行動パターンを同時に蓄積**
  - ・ユーザが実際に行う行動パターンが蓄積可能
- **・複数回蓄積された行動パターンのみを検知に利用**
  - ・ユーザが実際に行う行動パターンは何度も行われる





実験環境

- **・研究室内にホームネットワークを想定した環境を構築**
  - ・IoT 家電 : 13 種類
    - ・ヒータ、コーヒーメーカ、など
  - ・IoT センサ : 9 種類
    - ・室温センサ、湿度センサ、など
  - ・実験期間 : 1 か月間を繰り返し実施
  - ・被験者 : 学生 4 名
- **・全パケットとセンサ観測値を取得**
  - ・機器操作、ユーザの入退室時刻を記録
- **・時刻のみで宅内状況を分類**
  - ・研究室内の室温変化は微小



評価方法

- **・データセット**
  - ・キャプチャしたパケットから抽出した、機器操作および入退室の履歴
  - ・正常操作 : パケットに含まれる、被験者による機器操作
  - ・不正操作 : 偽の操作履歴をランダムな時刻に 100 (回 / 日) 分混入
- **・パラメータ設定**
  - ・月の最初の 1 週間分のデータを利用
    - ・残りの 3 週間分のデータを LOO-CV に利用
- **・評価手法**
  - ・LOO-CV (Leave-One-Out Cross-Validation)
    - ・学習データ : 特定の 1 日分を除くデータ
    - ・テストデータ : 特定の 1 日分のデータに不正操作を混入
    - ・各日の結果を合算し検知率、誤検知率を算出
- **・評価指標**

・検知率 ＝ 検知した不正操作数 / 混入した不正操作数

・誤検知率 ＝ 誤検知した正常操作数 / 正常操作の総数

1 か月間のデータに対する評価結果

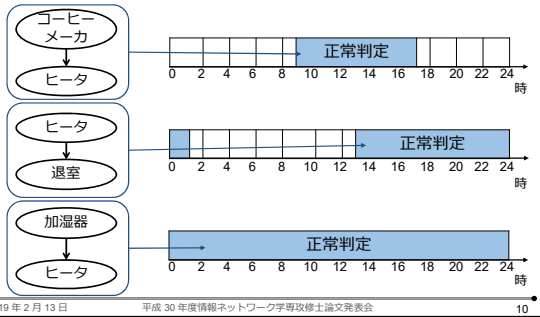
1. **検知率 95--100% 、誤検知 数回程度 (誤検知率 19% 未満)**
   - ・各状況に対する行動パターンが十分に学習されたため
   - ・検知漏れは、実際に機器操作が行われうるタイミングに存在
2. **「単発操作」を含む機器は検知が困難**
   - ・「単発操作」 : 前後に他の行動が観測できない機器操作
   - ・操作順序の情報が使えず、状況の情報のみで検知するため
   - ・特定の時間帯に操作が集中していない
3. **同じ行動パターンの蓄積回数が少ない場合は検知が困難**
   - ・「レアな操作」

2017 年 1 月 (1 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
ヒータ	0.959	2110/2200	0.182	2/11
テレビ B	1.000	2200/2200	0.000	0/2
コーヒーメーカ	0.157	346/2200	0.000	0/48
加湿器	0.080	176/2200	0.000	0/38
テレビ A	1.000	2200/2200	1.000	8/8

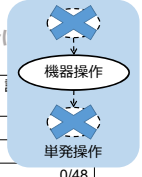
ヒータに関して学習された行動パターン

- **・他の機器操作とユーザの退室と関連した行動パターン**
- **・特定の時間帯に操作が集中**



1 か月間のデータに対する評価結果

1. **検知率 95--100% 、誤検知 数回程度 (誤検知率 19% 未満)**
   - ・各状況に対する行動パターンが十分に学習されたため
   - ・検知漏れは、実際に機器操作が行われうるタイミングに存在
2. **「単発操作」を含む機器は検知が困難**
   - ・「単発操作」 : 前後に他の行動が観測できない機器操作
   - ・操作順序の情報が使えず、状況の情報のみで検知するため
   - ・特定の時間帯に操作が集中していない
3. **同じ行動パターンの蓄積回数が少ない場合(**
   - ・「レアな操作」



2017 年 1 月 (1 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	
ヒータ	0.959	2110/2200	0.182	
テレビ B	1.000	2200/2200	0.000	
コーヒーメーカ	0.157	346/2200	0.000	0/48
加湿器	0.080	176/2200	0.000	0/38
テレビ A	1.000	2200/2200	1.000	8/8

1 か月間のデータに対する評価結果

1. 検知率 95--100% 、誤検知 数回程度 (誤検知率 19% 未満)
   - 各状況に対する行動パターンが十分に学習されたため
   - 検知漏れは、実際に機器操作が行われうるタイミングに存在
2. 「単発操作」を含む機器は検知が困難
   - 「単発操作」 : 前後に他の行動が観測できない機器操作
   - 操作順序の情報が使えず、状況の情報のみで検知するため
   - 特定の時間帯に操作が集中していない
3. **同じ行動パターンの蓄積回数が少ない場合は検知が困難**
   - 「レアな操作」

2017 年 1 月 (1 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
ヒータ	0.959	2110/2200	0.182	2/11
テレビ B	1.000	2200/2200	0.000	0/2
コーヒーメーカ	0.157	346/2200	0.000	0/48
加湿器	0.080	176/2200	0.000	0/38
テレビ A	1.000	2200/2200	1.000	8/8

まとめと今後の課題

- **行動パターンが蓄積できた機器に関しては、95-100% の不正操作を検知可能で誤検知率は 19% 未満**
  - 「単発操作」を含む機器の検知が困難
  - 「レアな操作」を含む機器の検知が困難
- **今後の課題**
  - 「単発操作」の検知
    - Idea : センサ情報を活用し、状況を細分化
  - 「レアな操作」による誤検知の低減
    - Idea : 他家庭の情報を利用
  - 手法の比較
  - 実家庭でのデータを用いた検証

付録

3 か月間のデータに対する評価結果

- **検知率は 99% 以上で、誤検知は 18% 未満**
- **テレビの誤検知率が 1 か月間の結果よりも低下**
  - より多くの行動パターンが蓄積されたため
- **単発操作を含む機器は検知が困難**

2017 年 4, 6, 8 月 (3 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
扇風機 A	0.998	6384/6400	0.000	0/9
扇風機 B	0.999	6399/6400	0.000	0/6
テレビ A	0.996	6377/6400	0.171	7/41
テレビ C	0.999	6397/6400	0.000	0/10
テレビ D	0.999	6398/6400	0.111	1/9
コーヒーメーカ	0.611	3908/6400	0.058	3/52

3 か月間のデータに対する評価結果

- 検知率は 99% 以上で、誤検知は 18% 未満
- テレビの誤検知率が 1 か月間の結果よりも低下
  - より多くの行動パターンが蓄積されたため
- 単発操作を含む機器は検知が困難

2017 年 4, 6, 8 月 (3 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
扇風機 A	0.998	6384/6400	0.000	0/9
扇風機 B	0.999	6399/6400	0.000	0/6
テレビ A	0.996	6377/6400	0.171	7/41
テレビ C	0.999	6397/6400	0.000	0/10
テレビ D	0.999	6398/6400	0.111	1/9

2017 年 1 月 (1 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
テレビ A	1.000	2200/2200	1.000	8/8

3 か月間のデータに対する評価結果

- 検知率は 99% 以上で、誤検知は 18% 未満
- テレビの誤検知率が 1 か月間の結果よりも低下
  - より多くの行動パターンが蓄積されたため
- 単発操作を含む機器は検知が困難

2017 年 4, 6, 8 月 (3 か月間)

	検知率	検知数 / 合計	誤検知率	誤検知数 / 合計
扇風機 A	0.998	6384/6400	0.000	0/9
扇風機 B	0.999	6399/6400	0.000	0/6
テレビ A	0.996	6377/6400	0.171	7/41
テレビ C	0.999	6397/6400	0.000	0/10
テレビ D	0.999	6398/6400	0.111	1/9
コーヒーメーカ	0.611	3908/6400	0.058	3/52