つながるクルマのセキュリティ

2016/01/31

重要生活機器連携セキュリティ協議会（CCDS）
広島市立大学大学院 情報科学研究科
井上 博之

SECCON2015決勝大会併催カンファレンス

目次 2

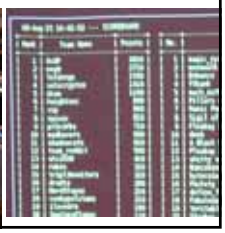
1. DEFCON23にみるIoT/クルマのセキュリティ
   - IoT Village
   - 車載ネットワークへのハッキング事例
2. 車載LANにおけるセキュリティ分析プラットフォームの開発
3. 車載LANにおける対策
   - 機械学習を用いたセキュリティゲートウェイの開発
   - 車載LANの情報を第三者に安全に提供するサービス
4. まとめ

DEF CON とは 3

- DEF CON Hacking Conference
  - 世界最大のハッキングイベント @ラスベガス Paris Hotel
    - 2015年 8/6（木）～8/9（日）の4日間、事前登録無し、US$230
    - 今年が23回目 ➜ DEFCON23
    - BlackHatのイベントに引き続き開催
  - 講演、CTF大会、ワークショップ、Village 、デモ展示など

CTF（Caputure The Flag） 4

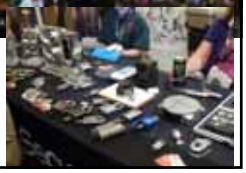
- ファイルやWebサイトに隠されているキーワード（フラグと呼ばれる）を探す
  - チーム対戦
  - 世界大会 決勝と、
    その場で開かれるOpenCTFの2つが開催

即売会（DEFCON） 5

- ハッキングツール、ノベルティ、書籍などをその場で販売



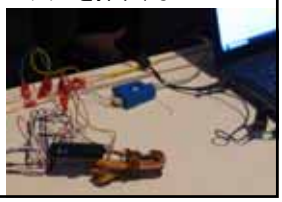


USB接続のWi-Fiアナライザ、SDR解析装置、など数十ドル程度のツールを販売 ➜最終日には完売

ワークショップ（DEFCON） 6

- ちょっとしたハッキングツールを作ったり、ツールを使って実際にハッキングしたりというワークショップ
- 物理セキュリティ
  - ピッキング
  - シール剥がし（Tamper Evident Tapeを剥がす）
- ちょっとした電子回路の作成
  - BadUSB
- 車載LANへアクセスして目的のパケットを探す、など





Village（BoFのようなもの） 7

- 興味を持った人たちが集まって、ミニ講演会やワークショップや展示などを実施（BoF➜birds of a feather）
- Bio Hacking Village
- Car Hacking Village
- Crypto and Privacy Village
- Data Duplication Village
- Hardware Hacking Village
- ICS Village (ICS/SCADA: 産業制御システム)
- Internet of Things (IoT) Village
- Lockpick Village
- Packet Hacking Village
- The Social Engineer Village
- Tamper Evident Village
- Wireless Village (SDR)

昨年から

今年から

物理セキュリティのVillage 8

- Lockpick Village
  - ピッキングツールと錠の戦い
  - ピッキング入門？のワークショップや、ツールの即売会

- Tamper Evident Village
  - Tamper Evident テープを分からないように剥がすワークショップ

Internet of Things (IoT) Village (1/2) 9

- 2015年に新設
  - ネットワークにつながるコンシューマー製品のセキュリティの向上を目指す
    - 広い意味でのIoT
  - 昨年にICS Villageも新設されており、組込み機器のセキュリティへの関心が大きくなってきている
- プレゼンテーション
  - Hacking Your Fat: the FitBit Aria（→WiFi多機能体重計）
  - Hacking Satellite TV Receivers
  - Practical IoT Exploitation Workshop (MIPS/ARM)
  - Pwning IoT with Hardware Attacks

※ pwn: ネットスラングで「うち勝つ」「圧勝する」「ボコボコにする」等の意味

Internet of Things (IoT) Village (2/2) 10

- ハッキングコンテスト
  - コンシューマー製品のハッキング大会（ワークショップ）
    - 家庭用ルータ（ASUS, Zyxel 社）
    - 防犯カメラ（Netgear, Forscam 社）
    - 赤ちゃんモニター（Samsung 社）
    - Wi-Fi対応血圧モニター（Blipcare 社）
    - Wi-Fi対応体重計（Fitbit Araia 社）
    - タイムカード記録装置（ZK Software 社）
    - NAS（Apple社タイムカプセル）
    - ガレージ開閉装置（Chamberlain 社）
    - 電気錠（LockState, Hysoon 社）
    - 冷蔵庫（Samsung 社）
    - おもちゃ（HappyCow社 カメラ付き戦車模型（Wi-Fi接続））

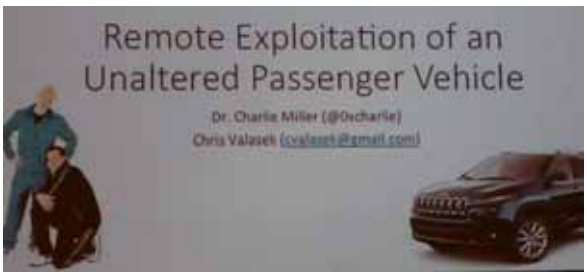
講演（DEFCON） 11

- 暗号解析から物理セキュリティ、ハッキングの事例など色々な発表あり
  - 1時間ずつ
  - 10:00～19:00 5トラック並列
  - 139件の発表

- 以下、話題になったJeepの車載ネットワークの脆弱性に関する講演内容を紹介

講演紹介：Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle 12

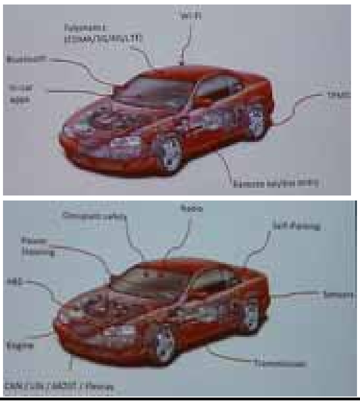
- 話題になったジープのハッキング事例の詳細



詳細なレポート（White Paper）が8/10の週に公開されている
http://www.ioactive.com/pdfs/IOActive_Remote_Car_Hacking.pdf

遠隔からの攻撃対象のあれこれ

13



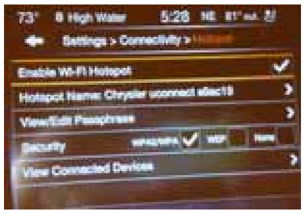
手順：

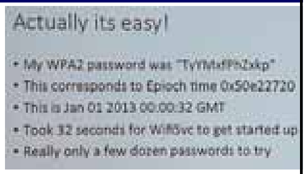
対象：
- Running exploit
- Self-parking
- Pre-collision system
- Adaptive cruise control

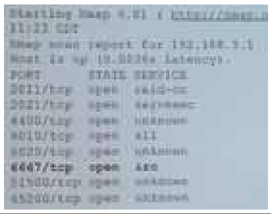
Step.1 WiFi経由のハック

14

車内のホットスポット機能のWi-Fiで、
ポートスキャン ➔ TCP/6667が開いている



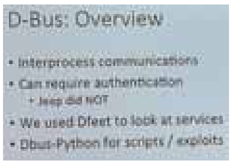


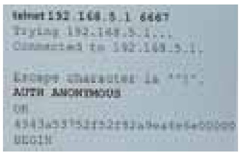


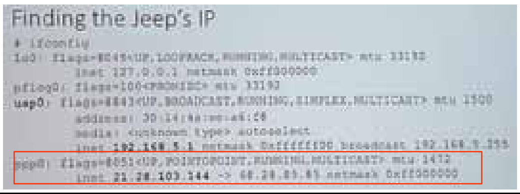
Step.2 D-Bus経由でのアクセス

15

TCP/6667番にアクセスすると、D-Busコマンドのプロンプトが・・・ しかも、認証なしで



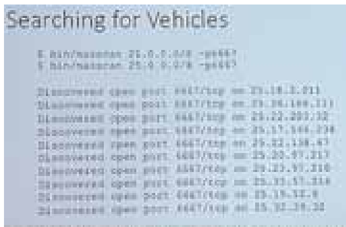




Step.3 広域通信網(WAN側)のアドレスで検索

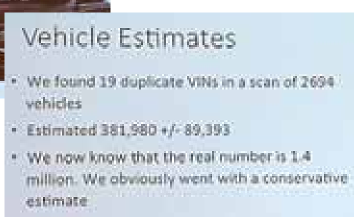
16

グローバルIPアドレス側の範囲のTCP/6667番をポートスキャンしたら簡単にアクセス可能



車両の型番を取得

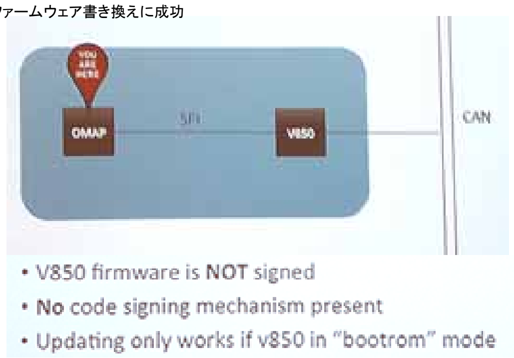
17



Step.4 制御CPUのファームウェアのハック

18

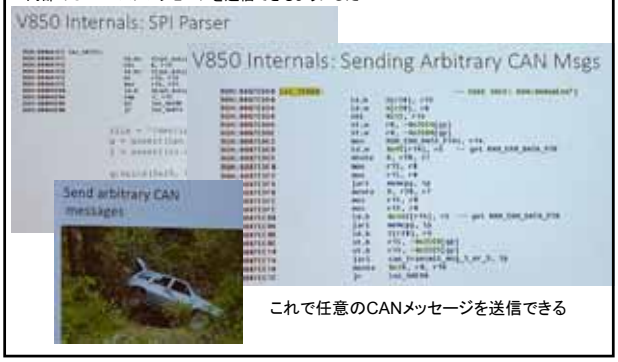
通信制御のモジュールから、SPIインタフェース経由で、CANにつながるV850 CPUの
ファームウェア書き換えに成功



SPIバス経由でのCANアクセス

19

V850 CPUのファームウェアを入れ換えて、外部からの指令を受け取り、
内部のCANバスにメッセージを送信できるようにした



これで任意のCANメッセージを送信できる

Step.5 CANメッセージの調査（キャプチャ＆解析）

20

段ボールの山に衝突させて、何のデータが流れるかを分析

自動車庫入れを実行して、
ビデオとデータのキャプチャ結果を分析

そして、遠隔からCANメッセージ経由で操作可能に

21

- そして、Jeepは携帯電話網経由で自由に操作できるようになった
  - 公開の少し前に、JeepはECUのファームウェアをリコールし、ISP（Sprint）はTCPの6667番をアクセス制限した

- Jeep問題のまとめ
  - 何も機器を追加していない車に対して、遠隔から干渉できた
    - 機器をつないでの干渉は、2011年や2013年に報告済
      - 技術的には、さほど難しくない内容
  - 車内のインターネット接続サービスや、車載LAN上のECU、インターネットプロバイダなどに穴（脆弱性）があり、そこを狙われた
    - 今回の件の公開前に、自動車メーカーとプロバイダは対策済み

22

車載LANにおける セキュリティ分析プラットフォームの開発

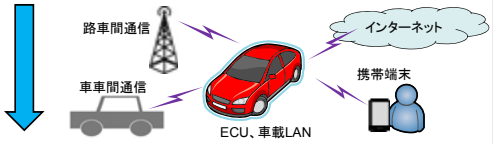
この2年ほど、広島市立大学で取り組んでいる研究

セキュリティ分析プラットフォームの必要性

23

- 自動車の高機能化やサービスの多様化
  - 高機能なカーナビやテレマティクス機器の導入
  - 3G/LTEの携帯電話通信網の普及（低価格化）

⇒ 自動車と外部ネットワークとの常時通信が一般的に

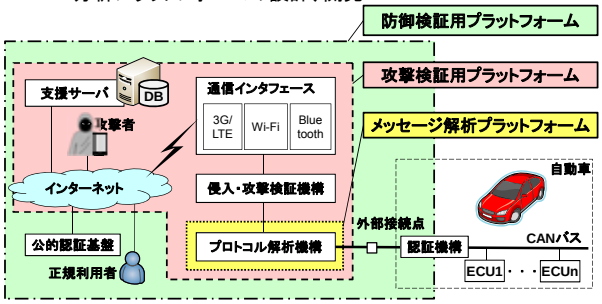


不正アクセス、攻撃の危険性が増大
攻撃手法や防御の仕組みを
実際の車やネットワークで解析する

分析プラットフォームの目的と構成

24

- 外部ネットワークにつながる車載LANに対する攻撃および防御手法の確立
  - 車載LANの情報セキュリティを分析および検証するための分析プラットフォームの設計、開発



25

1. メッセージ解析プラットフォーム

分析プラットフォームの開発

26

■ 攻撃手法の分析プラットフォームの開発と、防御手法の確立

- □ 車載LANやECUへの攻撃の危険性の評価
- □ 攻撃内容に応じた防御手法の評価

■ 分析プラットフォームの開発

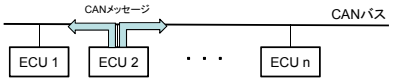
- □ 攻撃のアルゴリズムやメッセージの検証
- □ 通信状態や流れているメッセージの解析
- □ 攻撃プロトタイプシステムの開発
  - ◆ インターネットに常時接続する車載器の開発
  - ◆ 攻撃者を支援するGUIの作成

車載LANとCAN規格

27

■ 車載LANのプロトコルにはいくつか規格がある

- □ CAN、LIN、FlexRay、MOST、・・・
- □ 今回は車載LANとして、最も普及しているCANを想定



CANの特徴

□ ペイロードが小さい	最大8byte
□ ソースアドレスがない	宛先アドレス(CAN ID)しかない
□ 共有バスである	機器認証の仕組みもない
□ 通信速度が低い	500kbps程度

CANはプロトコル上、なりすましやDoS攻撃に本質的に弱い

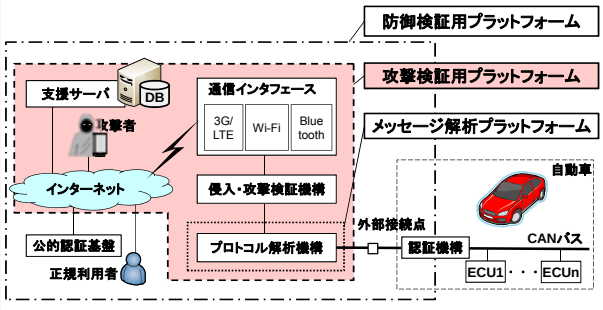
28

2. 攻撃検証用プラットフォーム

攻撃検証用プラットフォーム

29

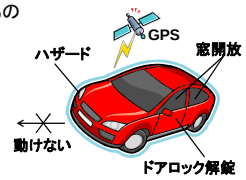
車載LANの情報セキュリティを分析および検証するための分析プラットフォームの設計、開発



想定する攻撃シナリオの例

30

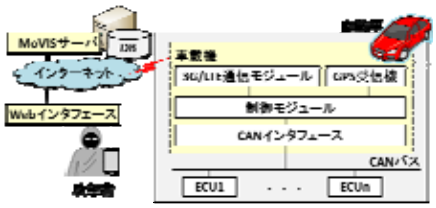
1. テレマティクス装置に模した車載器を車載LANと診断用(OBD-II)ポートへつなぐ
   ⇒車載器には攻撃プログラムが仕掛けられている
2. 車載器はGPS測位した値や自動車の状態などを定期的に支援サーバに送る
3. 攻撃者は、スマートフォンやWeb経由で、以下のような条件を指定して特定の自動車に攻撃命令を出す
   - ◆ ある範囲(緯度経度)にあるもの
   - ◆ ドアロック解錠
   - ◆ 指定した窓を開く
   - ◆ DoS攻撃を行なう



攻撃検証用プラットフォームの開発

31

- 主要機能
  - サーバを持ち車載LANへの攻撃支援を行なう
  - 自動車の状態を監視し情報をサーバで管理する
- プロトタイプシステムであるMoVISの開発
  - インターネット常時通信を行なう車載器を想定
  - インターネット上にMoVISサーバを持つ
  - 攻撃者はWebインタフェースを経由して攻撃指令を出す



開発した車載器とその機能

32

- 小型Linuxマシン（Raspberry Pi）を使用して実装
  - CANバスにつながるCANインターフェース（Arduino）を搭載
- インターネットと常時通信
  - 3Gデータ通信網を使用
  - グローバルIPを持ち通信を行なう
  - 識別には車載器のMACアドレスを使用
- 自動車の情報を支援サーバに伝える
  - GPSから取得した現在地の位置情報
  - CANバスから読み取った自動車の状態
- 支援サーバからの指令を受けCANバスに送信
  - 攻撃者が指定した動作を行なうメッセージをCANバスに送信

判明したCANメッセージの例

33

分類	内容	備考
状態	車両速度	単位：km/h
状態	エンジン回転数	単位：rpm
状態	ハンドル舵角	単位：度
状態	ブレーキ踏量	
状態	ギアポジション	R, N, Dのいずれか
動作	ドアロック解錠(1)	イグニッションOFFの状態で有効
動作	ドアロック施錠(1)	
動作	ドアロック解錠(2)	イグニッションONの状態で有効
動作	ドアロック施錠(2)	
動作	窓開け	4つの窓を個別に指定可能
動作	窓閉め	
動作	ハザード点滅	1回または2回の指定が可能
警告	シートベルト警告	警告灯を点灯
警告	サイドブレーキ警告	警告灯を点灯
警告	エンジン油圧不足	警告灯とメッセージを表示

攻撃者用ユーザインタフェース

34

- 攻撃者にWebアプリのGUIを提供
  - 支援サーバから受信した車載器とIDをマップ上に表示
  - 車載器に対する動作の選択が行い、指令を送信

実車を使用した実験

35

- 概要
  - 2013年9月に発売されたハイブリッド自動車を使用
  - 診断(OBD-II)ポートに、開発した車載器を接続
    - カーナビやテレマティクスが乗っ取られたことを想定
  - インターネット経由で、情報取得や車載LANへのメッセージ送信を実施
- 動画によるデモ
  1. 鍵の解錠、窓開け
  2. 表示パネルの誤表示
  3. トリップメータへの干渉
  4. 大量メッセージ送信（DoS攻撃）

実車での影響のまとめ

36

- 今回の実験で確認できた動作
  - ボディ系へのなりすまし攻撃
    - ドアロックの解錠
    - 窓を開ける
    - ハザードランプの点滅
  - インストルメントパネルへのなりすまし攻撃
    - タコメーターや速度計の数値操作
      ⇒ これによりトリップメータへの干渉も確認できた
    - ギアポジション表示の変更
    - シートベルトとサイドブレーキの警告ランプの点灯
  - DoS攻撃による動作妨害
    - さまざまな異常の発生
    - パワーステアリングやブレーキへの干渉

↓回転数7000rpm

↑スピード 180km/h

インターネットと常時接続する車載器から車載LANへの攻撃を確認し、また、走行中に異常を起こせるなどの危険性が判明 ➔ 守る仕組へ

分析プラットフォーム開発と実験のまとめ

37

■ 攻撃プロトタイプシステムの動作を通じて
- □ インターネットと常時接続する、テレマティクス機器を想定した車載器の開発
- □ 車載器を管理する支援サーバの開発
- □ 攻撃用ユーザインタフェースの開発
- □ 実車を使用し、CANメッセージの意味を解析
- □ 攻撃シナリオを想定し、実際の攻撃を遠隔から実施し、実車での動作を確認

インターネット経由での車載LANへ攻撃が可能であることを確認し
攻撃検証用プラットフォームの有効性を実証した ➜ 防御の仕組みへ

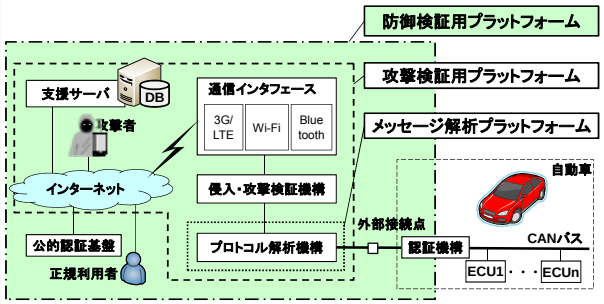
38

3. 防御検証用プラットフォーム

防御検証用プラットフォーム

39

車載LANの情報セキュリティを分析および検証するための分析プラットフォームの設計、開発

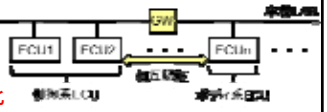


防御機構に関する考察 (1/2)

40

1. 物理的な対策
- □ 車載LANのハーネスやコネクタに利用者が容易にアクセスできないようにする
- □ 車載LANを機能毎に分割し、フィルタリングや認証を行うゲートウェイの設置をする
  - ◆ 1.制御・安全系、2.ボディ系、3.情報系

2. なりすまし攻撃の対策



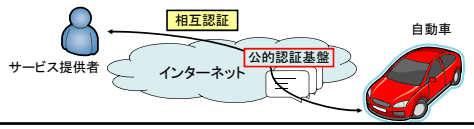
- □ ECU間の相互認証
- □ 通信メッセージの暗号化
- □ トラフィックパターンによる学習機能
- □ 外部接続点とゲートウェイでメッセージの監査機構の導入

防御機構に関する考察 (2/2)

41

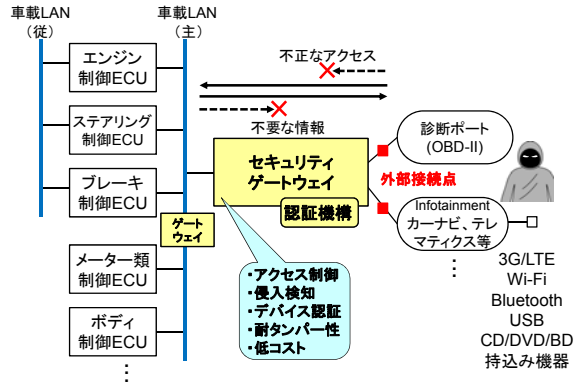
3. DoS攻撃の対策
- □ 制御・安全系のネットワークの二重化
- □ 特定の機器をネットワークから切り離す機能
- □ 外部接続点とゲートウェイでメッセージの監査機構導入

4. 外部サービスとの連携における対策
- □ 第三者による遠隔診断や故障通知のサービスの実現
- □ PKIのような公的認証基盤を用いた、サービス提供者と自動車との相互認証



ゲートウェイ機構の実装例

42



43

a) 機械学習を用いた セキュリティゲートウェイの開発

開発したプラットフォームを使った実施中の研究の1つ

車載LANトラフィックの特徴を分析

44

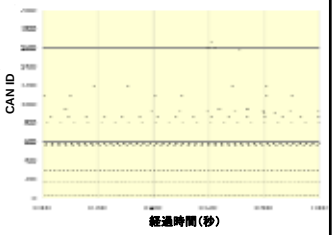
■ 実車の車載LANに流れるメッセージをキャプチャして分析

□ CANトラフィックにはCAN ID毎に3つの特徴を確認

1. 一定の周期で送信されるもの
2. 状態の変化時に追加で送信されるもの
3. 一定の周期が無く，特定動作時のみ送信されるもの

□ 特定の動作や状態によってデータ部の値が変化

◆ 速度情報やハンドル舵角情報などのアナログデータは連続的に変化



CANトラフィックを機械学習することで 動的なフィルタリングルールの生成の可能性

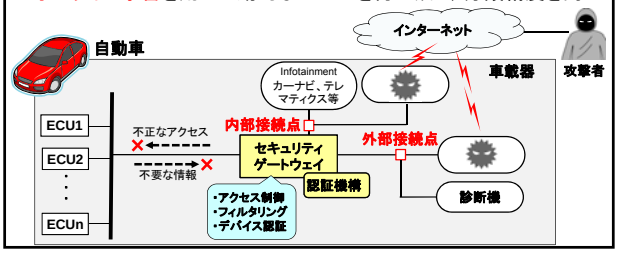
SGWにおける動的なルール生成機構

45

車載セキュリティゲートウェイにおける 動的なルールを機械学習によって生成

□ 機械学習によって攻撃メッセージと正常メッセージを正しく分類可能なルールを生成

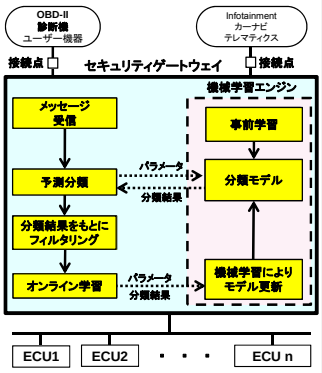
□ オンライン学習を用いて動的なルールを再生成し，分類精度を向上



セキュリティゲートウェイの動作

46

1. 導入時の初期ルールを，事前学習することで生成
   - □ **正常な実車トラフィックを学習**
   - □ 分類モデルを作成
2. 分類モデルの予測分類結果をもとにフィルタリング
   - □ 正常，もしくは攻撃に分類
3. メッセージをオンライン学習してルールを再生成
   - □ メッセージと分類結果を学習し，分類モデルを更新



CANトラフィックの機械学習方法

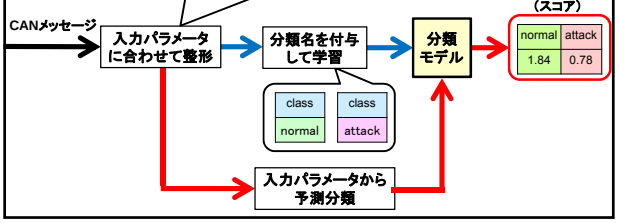
47

■ CANメッセージの学習による分類モデルの生成

■ 分類モデルによってCANメッセージの予測分類結果を算出

例：入力パラメータがメッセージのデータ部の場合

CAN ID	データ部1byte目	データ部2byte目	データ部3byte目	データ部4byte目	データ部5byte目	データ部6byte目	データ部7byte目	データ部8byte目
0B4	00	31	00	02	D0	85	00	B5



事前学習による初期ルールの分類精度の評価（1）

48

■ 評価データ

□ 一定周期が存在する9種類のCAN ID毎に各1000メッセージ用意

◆ 正常メッセージ：学習データからランダムに抽出

◆ 攻撃メッセージ：実車に影響を及ぼす，なりすましメッセージを周期ランダム

CAN ID	攻撃内容
0B4	速度のなりすまし
1C4	回転数のなりすまし
394	パワーステアリング警告の誤表示
3B6	バッテリー残量の誤表示
3B7	様々な警告の誤表示
3BC	ギアランプの誤表示
620	サードブレーキとシートベルト警告の誤表示
622	ハイビーム状態の誤表示
623	ハザードのなりすまし

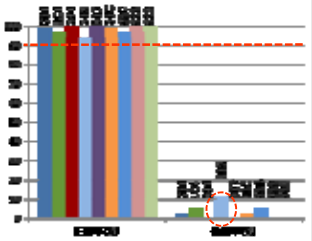
評価データのメッセージを初期ルールで分類 **正解率，偽陽率を算出**

事前学習による初期ルールの分類精度の評価(2)

49

■ 9割以上の正解率で
正しく分類可能

■ 偽陽率が1割以上になる
メッセージの種類が存在
□ 攻撃メッセージの誤分類が頻発

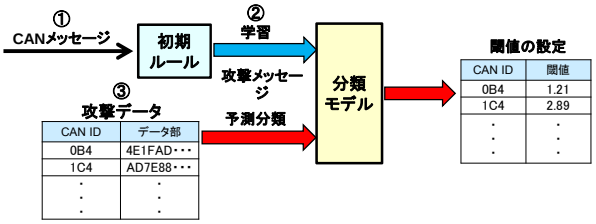


初期ルールを用いて攻撃メッセージをオンライン学習
正常メッセージと攻撃メッセージのスコアを併用した動的ルールを生成

オンライン学習による動的ルールの分類精度の評価(1)

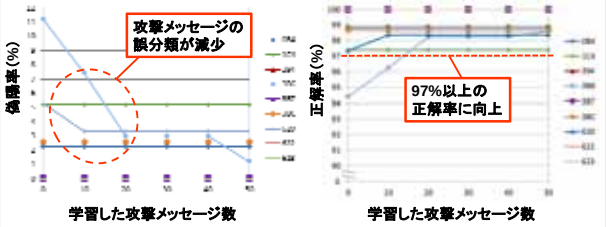
50

■ 動的ルールの生成
①なりすましメッセージを加えたトラフィックを初期ルールで分類
②攻撃に分類されたメッセージを異なる分類モデルに学習
③学習したメッセージのスコアを算出し，最小スコアを攻撃メッセージの閾値として設定



オンライン学習による動的ルールの分類精度の評価(2)

51



偽陽率が高かったメッセージが正しく分類されている
攻撃メッセージの学習によって精度が向上

CANトラフィックに機械学習を適用したルール生成

52

実車の正常なメッセージを事前学習することで
精度の高い初期ルールが生成可能

攻撃メッセージをオンライン学習することで
分類精度が向上する動的ルールが生成可能

■ 一定周期が存在するメッセージ
□ CAN ID毎に機械学習でルールの生成が可能
□ オンライン学習によってルールの分類精度が向上

■ 一定周期が存在しないメッセージ
□ 機械学習方法，ルール生成方法の変更
◆ 近いタイミングで流れているメッセージの情報など
□ 静的なルールや専用のアルゴリズムを使用

53

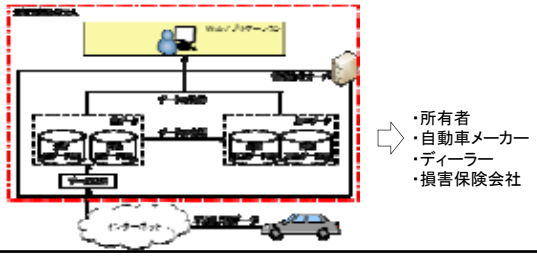
b) 車載LANの情報を
第三者に安全に提供する仕組みの研究

開発したプラットフォームを使った実施中の研究の1つ

車載LANデータの活用

54

■ 車載LANには、あらゆる情報が流れている
■ ネット常時接続の低価格化とストレージの大容量化
➜車載LANの情報を
第三者に安全に提供するサービスの実現？



CANの生データをクラウドへ

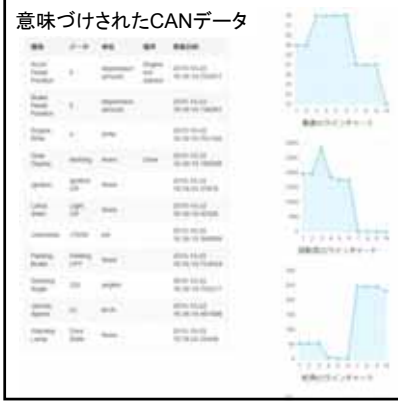
55

データベースに格納されたCANの生データ

生データの意味を解析し可視化

56

意味づけされたCANデータ



第三者に安全に提供する仕組みを試作

57

車載LANの情報を第三者に安全に提供するサービスの例

- 個人（所有者、家族）へ
  - 運転評価、燃費統計
  - ドライブマップ
- 自動車メーカー・ディーラーへ
  - 不具合箇所を検知して通知
  - 実車の走行時評価
- 損害保険会社へ
  - 運転リスク評価
    - 評価結果で保険料を安くなる

まとめ

58

- DEFCON、BlackHat
  - 解析能力の向上 ➔ 対策能力の向上
  - 便利なツールや解析ソフトウェアの入手性の向上
    - だれでもリバースエンジニアリングが可能に。よいハッカーと、悪いハッカー
    - 家電製品や身近なIoTは対象となりやすい
- IoTシステムの情報セキュリティ
  - ネットにつながる家電や自動車、産業機器にひそむ脆弱性
    - 世界レベルからのアタックに対する防御策
    - ファームウェア更新の難しさ
  - 機器単体でなく、IoTを構成するシステム全体での健全性評価の確立
- 車載LANの情報セキュリティに関する分析プラットフォームの開発およびその検証
  - 実車を使った、攻撃手法の評価
  - 機械学習を用いたセキュリティゲートウェイの研究
    - 机上での評価中、実車へ適用し評価を予定
  - 車載LANの情報まるごと上げて、第三者に安全に提供する手法の研究