

建設機械の滑り転倒危険に係る自己完結型 off-line 警告システム Self-contained Off-line Alert System pertaining to Risk of Slide and Turnover of Construction Machinery

(株)まざらん 正会員 ○西垣 重臣
(株)キック 才原 勝敏

1. 動機

建設機械オペレータの操作能力は、下記の能力で構成される。

- (1) 周囲の世界がどのようなになっているかを正確に認識する能力
- (2) 建設機械の振る舞いが状況認識をどのように変化させるかを投影または予測して、建設機械を操作する能力

オペレータは自らが操作する建設機械の車体姿勢、振動、衝撃などを体感することができ、自らの the seat of the pants を活かすことができる。しかし、その the seat of the pants を活かすためには、操作に関して豊富な経験と技能が必要である。ここで、the seat of the pants とは、自分の経験と勘で、計器に頼らず、反射的に判断・操作することをいう。

経験や技能の不足、作業中の一点集中、限られた視野などは不十分な状況認識の引き金となる。状況認識(situational awareness)とは、オペレータが、建設機械を操作中に体感する事象や先行する手がかりに基づいて、時間的・空間的見越しを行うために意識的に自覚することである。

建設機械の操作においてオペレータの状況認識の向上とヒューマンエラーの未然防止を図るために、建設機械の滑り転倒危険に係る早期警告を、彼女ら/彼らにリアルタイムに提供することは非常に有意義である。

この目的を果たす自己完結型 off-line 滑り転倒警告システムについて報告する。自己完結型 off-line とは、このシステムは完全に独立した機能で構成され、インターネットには接続しないという意味である。このシステムは、Raspberry Pi と拡張ボードである SenseHat を使い組み立てたものである。そして、三軸加速度に基づいて、車体の前後左右方向の動き

とピッチングとローリングを求め、閾値を超えた場合に、注意状態のときに LED 黄色点灯、警告状態の時に LED 赤色点灯により警告を発する。

2. 関連する研究開発

図1に示す on-line 型の滑り転倒警告システムの研究開発を行っている。このシステムを SaaS として提供している。このシステムの概要を以下に述べる。

三軸加速度と三軸角速度のデータに相補フィルタを適用して、車体のピッチングとローリングを求める。姿勢表示器がオペレータにこれらの値を提示する。危険と判断されたときは、オペレータが腕に身につけているスマートデバイスを起振する。センサとしてスマートフォンを使用する。



図1 on-line 型の滑り転倒警告装置の構成

3. 危険警告のトリグガの考え方

三軸加速度計測値の経時変化を表現する特性値として、平均値と分散の変化、周波数の変化、外れ値、連続的な上昇/下降傾向（トレンド）など、また導出属性として、三軸合成値、スリップ角、姿勢角などが考えられる。三軸加速度の計測値は、エンジン振動、サスペンションによる振動吸収、風力による振動、ノイズなどの比較的高い周波数を持った振動の影響を受け、多様な振動が混合している。そこで、簡便な方法であり、高

キーワード 自己完結型 off-line 滑り転倒警告システム, RaspberryPi3, SenseHat

連絡先 〒160-0079 東京都新宿区北新宿 3-4-4-208 (株)まざらん TEL 090-4838-1489

い周波数や外れ値(outliers)の影響を受けないと考えられる連検定(run test)の考え方を取り入れる.連検定とは,コインの表裏,丁半,Yes か No などのように二つしかない結果・事象において,その生起回数に規則性があるかないかを検定するものである.

三軸加速度計測値の連続的な上昇または下降を示す連数に注目する.一般に,連数"5"のときは注意が必要,連数"6"のときはアクションの準備を整える,連数"7"のときは原因究明と対策などのアクションをとる,といわれる.連数が"7"の事象が発生する確率は $(1/2)^7=0.0078125$ である.この確率は,一年内に交通事故に遭遇する確率に近似する.ちなみに,連数が"15"の事象が発生する確率は $(1/2)^{15}=3.051758e-05$ である.この確率は交通事故で死亡する確率に近似する.ハザードに起因した危険事象の判断基準を厳しくする(連数の値を大きくすること)とも考えられる.判断基準を厳しくすると,第二種の過誤確率が大きくなり,検定力が落ちる.一方,判断基準を甘くすると,危険事象の発生という判断が乱発される.これらのことを考慮して,本研究で設定した閾値を表1に示す.

表1 閾値一覧

項目名	設定内容	開発用初期値
MainWait	サンプリングレート設定(sec)	0.1
CautionCounter	注意状態とみなすカウンタの閾値	7
CautionDegree	注意状態とみなす角度の値	15
AlertCounter	警告状態とみなすカウンタの閾値	13
AlertDegree	警告状態とみなす角度の値	25

4. システム・アーキテクチャ

本システムは,可能な限り小型で着脱が容易なものを,安価に提供可能とすることを目的として開発した.

教育用に開発されたボードコンピュータである RaspberryPi3 と公式拡張ボードである SenseHat を組み合わせ,透明のケースに収める形とした.本システムの概観を図2に示す.

RaspberryPi3 は,公式の RaspbianOS を使用し,本システムで使用する計測プログラムは,Python で記述されている.

SenseHat は, AstroPi 計画のために作成された拡張ボードで,9 軸 IMU, 温度, 湿度, 気圧の各セン

サを持ち,入力デバイスとして 5 ボタンジョイスティック,表示デバイスとして,8x8 の 16 ビット LED ディスプレイを備えており, RaspberryPi 用の公式ライブラリが用意されている.



図2 本システムの概観

OS 起動時に自動的に計測プログラムが起動するように設定しており,本体に通電後, OS が起動し,自動的に計測プログラムが動き出す.

給電は, MicroUSB となるので,シガライターソケット用 USB チャージャーの使用をイメージしている.

5. 注意警告喚起の表示

システム起動後,設定ファイルの内容をスクロール表示し,システムが初期化され,計測を開始する.

安定しているとみなされる間は, SenseHat の LED は緑に点灯する.

注意状態に入ると LED は黄色に点灯し,警告状態で赤色に点灯する.



図3 注意警告喚起の表示

参考文献

- ・西垣重臣,才原勝敏,溝渕真一: 間伐施業の生産性・安全性指標の強化学習を活用した可視化方法,平成29年度建設施工と建設機械シンポジウム.
- ・福田祐二, "生産現場の異常を検知,品質管理に役立つ「C 管理図」を使う"

on line:

http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1210/11/news003_2.html