

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



Bakalářská práce

Analýza podmínek pro stavbu vozu pro účast na soutěží Formula Student Driverless

Construction analysis to build a Formula Student Driverless vehicle

Student: Ondřej Kratochvíl
Vedoucí práce: Ing. Nikita Astraverkhau
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství
Akademický rok: 2017/2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kratochvíl** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **458503**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza podmínek pro stavbu vozu pro účast na soutěži Formula Student Driverless

Název bakalářské práce anglicky:

Construction analysis to build a Formula Student Driverless vehicle

Pokyny pro vypracování:

V rámci své práce zaměřte se na následující oblasti:

- Zpracujte rozbor pravidel soutěže Formula Student Driverless
- Proveďte souhrn konceptů použitých na vozech přihlášených na soutěž v roce 2017
- Proveďte rozvalu možného konceptu na základě dostupných vozů týmů CTU CarTech a eForce
- Zpracujte koncept složení týmu a časový plán stavby vozu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Nikita Astraverkhau, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Nikita Astraverkhau
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, prezentace atd.) uvedené v závěru práce.

V Praze 30.6.2018

Ondřej Kratochvíl

Poděkování

Děkuji Fakultě strojní za dlouhodobou podporu týmu CTU CarTech, celému týmu CTU CarTech, že mohu být jeho součástí a že mi pomohla získat mnoho zkušeností, týmu AMZ Racing za jejich štědrost při poskytování informací v oblasti driverless pro širokou veřejnost a lidi, které se tímto oborem zabývají. V neposlední řadě děkuji panu Ing. Nikitovi Astraverkhauovi, že mi umožnil vypracovat toto zajímavé téma.

Anotace

Název práce	Analýza podmínek pro stavbu vozu pro účast na soutěži Formula Student Driverless
Autor:	Ondřej Kratochvíl
Vedoucí:	Ing. Nikita Astraverkhau
Akademický rok:	2017/2018
Ústav:	U12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Rozsah:2	33 stran 4 tabulky 16 obrázků
Anotace:	Cílem této práce bylo lidem orientující se v soutěži Formula Student přiblížit soutěž Formula Student Driverless. Co vše musí splňovat Formula Student Driverless a jak takový vůz postavit.
Klíčová slova:	CTU CarTech, Formula Student Driverless, Autonomní systém

Annotation

Title: Construction analysis to build a Formula Student Driverless vehicle

Author: Ondřej Kratochvíl

Supervisor: Ing. Nikita Astraverkhau

Academic year: 2017/2018

Department: U12120 Department of Automobiles, Internal combustion engines and Railway vehicles

Size: 33 pages

4 tables

16 pictures

Annotation: The purpose of this thesis is describe what need accepted car on the events Formula Student Driverless. How is changed CTU CarTech for new team on Formula Student Driverless.

Keywords: CTU CarTech, Formula Student, Autonomous system

Zkratky

AAIR	ASF Add Item Request
ADR	Autonomous Design Report
AMI	Autonomous Mission Indicator
APPS	Accelerator Pedal Position Sensor
AS	Autonomous System
ASF	Autonomous System Form
ASMS	Autonomous System Master Switch
ASR	Autonomous System Responsible
ASRQ	ASR Qualification
ASSI	Autonomous System Status Indicator
BSE	Brake System Encoder
CV	Internal Combustion Engine Vehicle
DV	Driverless Vehicle
EBS	Emergency Brake System
ECU	Electronic Control Unit
EDR	Engineering Design Report
ESO	Electrical System Officer
ETC	Electronic Throttle Control
EV	Electric Vehicle
GLVS	Grounded Low Voltage System
RES	Remote Emergency System
TPS	Throttle Position Sensor
TS	Tractive System
VSV	Vehicle Status Video

Obsah

1	Úvod	1
2	Rozbor pravidel	2
2.1	Administrative Regulation (A)	2
2.2	General Technical Requirements (T)	3
2.3	Internal Combustion Engine Vehicles (CV)	5
2.4	Electric Vehicles (EV)	6
2.5	Driverless Vehicles (DV)	6
2.6	Technical Inspections (IN)	9
2.7	Static Events (S)	10
2.8	Dynamic Event Regulations (D)	10
3	Týmy a jejich koncepty vozu	11
3.1	AMZ Driverless	11
3.2	KA Racing Driverless	16
3.3	TUW Racing	16
3.4	Team Starcraft Driverless	17
3.5	Revolve NTNU Driverless	18
3.6	StarkStrom Driverless	19
4	Úprava vozu CTU CarTech pro účast na soutěži Formula Student Driverless	22
4.1	Elektronicky ovládaná škrtící klapka	22
4.2	Brzdový systém	22
4.3	RES	23
4.4	Kamery	24
4.5	Laserový skener	25
4.6	GPS Modul	25
4.7	Řízení	25
5	Změna struktury týmu a změna rozpočtu	27
5.1	Tým CTU CarTech Driverless	27
5.2	Změna rozpočtu	27
5.3	Časový harmonogram stavby vozu	28
6	Závěr	29
7	Zdroje	30
8	Seznam příloh	34

1 Úvod

Tato práce se zabývá nově narůstajícím trendem v soutěži Formula Student. Vedle disciplín Formula Student Combustion (CV) a Formula Student Electric (EV), totiž vznikla nová, a to Formula Student Driverless (DV). Jak samotný název disciplíny říká, tak se jedná o formule, které nemají pilota. S první myšlenkou této disciplíny se setkáme už několik let dozadu, ale první závod byl v roce 2017 v Německu na okruhu Hockenheim.

Jelikož soutěž Formula Student vznikla v roce 1981, tak je dnes hodně známá a většina lidí je seznámená i s jejím průběhem. Tím je myšleno stavba auta (návrh, konstrukce, výroba), závody (Business Plan Presentation, Cost and Manufacturing, Skid Pad, atd.) a samotné pozadí fungování týmu (PR, finance, časový plán). Zaměřím se tedy přímo na odlišnosti mezi DV a CV, popřípadě EV. A to nejen v pravidlech, ale i v konstrukci vozu, a také, jak vypadá samotný závod. Představím některé celosvětově známé týmy a podívám se na jejich konstrukci. Tím se nechám inspirovat a představím, co vše bychom museli udělat, aby na ČVUT vznikl tým i vůz, který by se mohl zúčastnit soutěže Formula Student Driverless.

Z počátku zjistíme, co vše musí splňovat vozy pro účast na soutěžích Formula Student Driverless. Pak zhodnotíme situaci na ČVUT pro stavbu driverless formule. Jestli je lepší, aby vznikl nový tým nebo se modifikoval některý ze stávajících týmů. Jak by se změnila struktura takového týmu a jaký by to mělo vliv na rozpočet.

2 Rozbor pravidel

Monoposty pro účast v soutěži Formula Student jsou stavěny podle tak zvaných FSG pravidel¹, podle kterých se závodí na většině závodů v Evropě. Pravidla jsou psaná v angličtině a nemají oficiální český překlad. Tato pravidla mají 130 stran a obsahují mnoho kapitol. Některé jsou pro disciplíny CV, EV a DV společná, některá se vyhražují pro určitou disciplínu. Mezi společné kapitoly patří Administrative Regulations (A), General Technical Requirements (T), ve kterých se dočteme o tom, jak probíhá přihlašování a závody a jakým způsobem jsou vozy navrženy a postaveny. Pak následují kapitoly Internal Combustion Engine Vehicles (CV) a Electric Vehicles (EV). Nabízí se tyto kapitoly přeskočit a zabývat se až kapitolou Driverless Vehicles (DV), ale není tomu tak. V kapitole Driverless Vehicles je několikrát odkazováno na předešlé dvě kapitoly, podle toho jakou má vůz pohonnou jednotku. Driverless formule mohou mít jak elektrický pohon, který je nejčastější, tak i spalovací motor. Následuje kapitola Technical Inspection (IN), ve které je popsáno, jak probíhá technická přejímka vozu na závodech. Technická přejímka pro každou kategorii² má svá specifikace, o kterých se tam také dočteme. Kapitoly Static Events (S) a Dynamic Event (D) Regulation jsou o tom, jak vypadají statické a dynamické disciplíny.

2.1 Administrative Regulation (A)

V této kapitole se dočteme, že driverless formule mohou být s elektrickým pohonem nebo se spalovacím motorem. Z toho pak vyplývá, kterými pravidly se musí řídit. Pokud budeme mít driverless formuli se spalovacím motorem, tak se musí řídit pravidly, jak pro DV tak i pro CV.

Dále se dočteme, že závod začíná technickou přejímkou, která je popsána v kapitole IN. Soutěž je rozdělena statické a dynamické disciplíny. Oficiálním jazykem soutěže je angličtina, proto se v pravidlech objevuje mnoho anglických pojmů, které nemají oficiální překlad. Pro jejich autentičnost je ponechávám bez překladu.

Tato kapitola také říká, že vozidlo může použito pouze jeden rok, poté musí být provedena změna na šasi a podvozku. Výjimka od tohoto pravidla je pro DV formule,

¹ Podle soutěže Formula Student Germany

² CV, EV a DV

které mohou použít vůz z předchozích let, ale zásadní změna musí být provedena na autonomním systému.

Driverless formule musí mít Autonomous System Responsible (ASR). ASR je osoba, která je zodpovědná za chování vozu v autonomním režimu, a že vůz je zcela bezpečný. Z toho vyplývá, že nemůže být zároveň pilotem. Tato osoba musí mít adekvátní vzdělání, tzn. minimálně bakalářský titul z IT, elektrického inženýrství, mechatroniky, automatizace, robotiky nebo podobného zaměření. Pokud formule má elektrický pohon, tak tato osoba nahrazuje ESO³.

Pořadatelům závodu, ještě před samotným začátkem závodu, se musí odeslat mnoho dokumentů. Některé jsou pro všechny stejné, některé jsou odlišné pro CV a EV, a pro disciplínu DV jich je pár nových. Jsou to AAIR & ASF, ADR a ASRQ. Důležité je pak i Vehicle Status Video (VSV), což je video, na kterém je vidět vůz v provozu. Kromě společných požadavků pro všechny vozy, jsou i specifické požadavky pro driverless formule. Patří k nim, že auto musí být v pohybu bez pilota, musí být viditelné Autonomous System Status Indicator (ASSI), dále tam musí být i pohled třetí osoby na palubní desku a na konci musí být předvedeno nouzové zastavení.

2.2 General Technical Requirements (T)

Tato kapitola se zabývá samotnou konstrukcí formulí. Jelikož tato kapitola je nejobsáhlejší, tak se zaměřím pouze na odlišnosti mezi formulí driverless a formulí spalovací, popřípadě elektrickou.

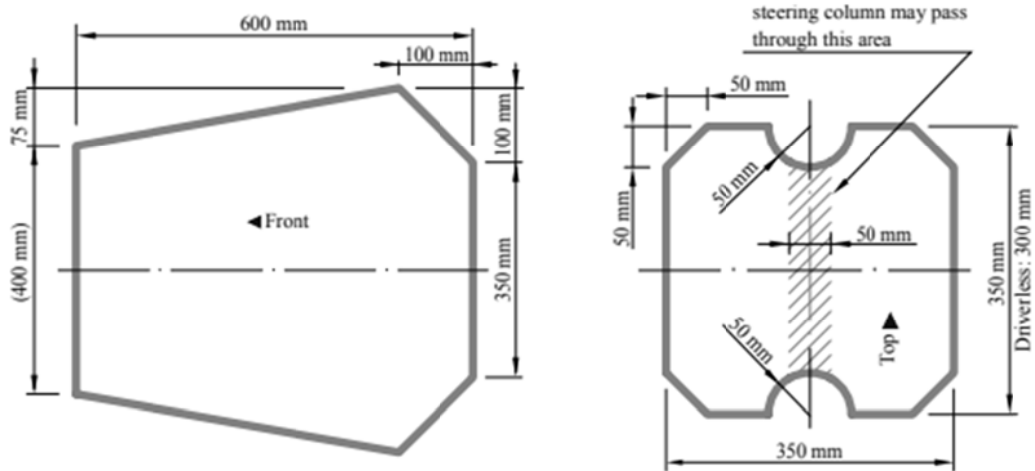
První poznámka se týká řízení. Pravidla říkají, že je zakázán systém používající elektroniku nebo řemeny. Výjimkou jsou formule driverless, u kterých je toto povoleno u pohonu řízení.⁴

O další výjimce se dočteme v kapitole zabývající se prostorem v kokpitu. Pro kontrolu prostoru v kokpitu se používá Cockpit opening template a Cockpit internal cross section template. A právě u druhého zmíněného je možnost použití přípravku o 50 mm nižšího z důvodu umístění pohonu řízení. Důležité je zmínit, že pokud

³ Vozy s elektrickým pohonem musí mít Electrical System Officer (ESO), což je osoba, která je zodpovědná za to, že vůz je elektricky bezpečný a veškeré úpravy provedené během závodu nezmění jeho stav bezpečnosti. S tím souvisí i vzdělání této osoby, ale pořad musí být méně než PhD student.

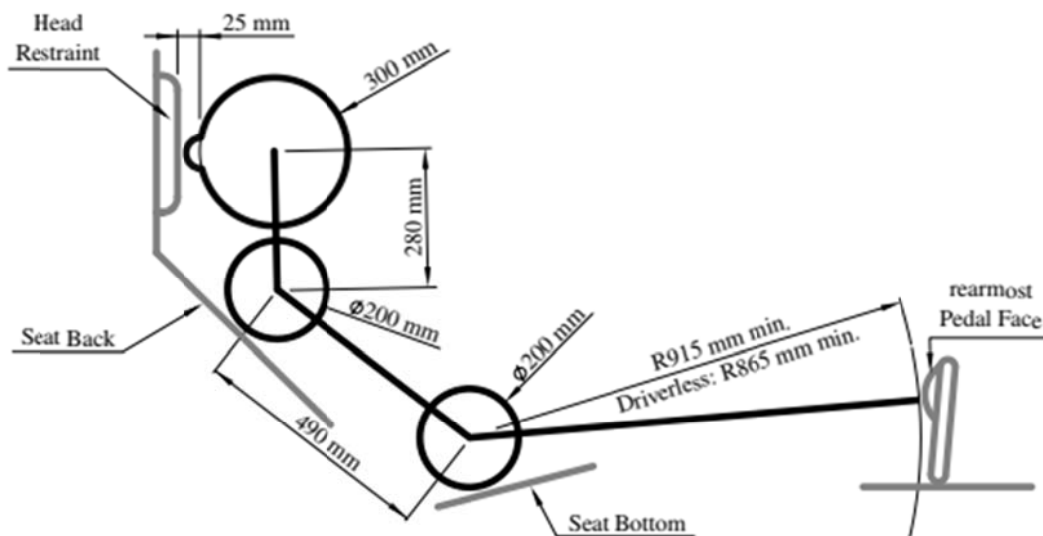
⁴ FS Rules 2018, T 1.6.1.

odstraníme pohony a serva řízení, brzd a spojky, tak se do kokpitu musí vejít standartní šablony.⁵



Obr. 1 Šablona pro kontrolu prostoru v kokpitu

Změna se týká i u kapitoly Percy (95th percentile male), kde je povolena menší vzdálenost mezi boky piloty a pedály. Vzdálenost může být kratší o 50 mm, ale zase platí, pokud vyjmeeme pohony brzd či plynu, tak musí splňovat standartní šablonu.⁶



Obr. 2 Prostory simulující sezení pilota

⁵ FS Rules 2018, T 3.2

⁶ FS Rules 2018, T 3.3

Důležitá zmínka je o brzdovém systému, která říká, že brzdy elektronicky ovládané jsou zakázány. Driverless formule toto mají povoleno, ale pouze pokud je vůz v autonomním režimu. Pokud je vůz v manuálním režimu, pak brzda musí být ovládána pouze mechanicky.⁷⁸

Co se týče elektronických zařízení, tak ty musí být připojená přes hlavní vypínač. U driverless formule musí být přítomné dva vypínače. Jeden je pro pohon Master Switch a druhý pro autonomní systém Autonomous System Master Switch (ASMS).⁹

2.3 Internal Combustion Engine Vehicles (CV)

Startování spalovacího motoru je ovládáno jiným tlačítkem, než je Master Switch. Pokud je startování ovládáno externě mimo vůz, tak proces startování je umožněn pouze, pokud je ASMS zapnut a je zařazený neutrální rychlostní stupeň. Vedle startovacího tlačítka musí být umístěné zelené světélko, označené písmenem N, které ukazuje, že je zařazený neutrál. Autonomní systém nesmí nastartovat motor.¹⁰

Všechny driverless formule musí být vybaveny elektronicky ovládanou škrtkicí klapkou, Electronic Throttle Control (ETC). A pokud je vůz vybaven ETC, tak s tím souvisí odevzdání předzávodních dokumentů a celá konstrukce. Pravidla nám říkají, že ETC systém musí být vybaven Accelerator Pedal Position Sensor (APPS), které nám ukazuje polohu plynového pedálu, dva Throttle Position Sensor (TPS), které měří pozici škrtkicí klapky, a jeden Brake System Encoder (BSE), který měří polohu brzdového pedálu nebo tlak v brzdovém systému. V případě DV musí BSE být právě pro měření tlaku. Měření polohy brzdového pedálu není dostačující. TPS jsou dva a mezi sebou porovnávají hodnotu. Pokud se hodnota liší o určitou hodnotu po určitou dobu¹¹, nastává tzv. stav nedůvěryhodnosti a elektronické ovládání plynu se vypne.¹²

⁷ FS Rules 2018, T 5.1.1

⁸ FS Rules 2018, T 5.1.4

⁹ FS Rules 2018, T 10.1

¹⁰ FS Rules 2018, CV 1.2

¹¹ FS Rules 2018, CV 1.4.3

¹² FS Rules 2018, CV 1.6

2.4 Electric Vehicles (EV)

V této kapitole je pouze jedna připomínka k driverless formuli a to, stejně jako v kapitole CV, že autonomní systém nesmí spustit pohonnou jednotku. V tomto případě se jedná o Tractive System (TS).¹³

2.5 Driverless Vehicles (DV)

Tato kapitola je pro nás nejdůležitější. Hned na začátku se dozvíme, že driverless musí splňovat všechna předchozí pravidla v závislosti na tom, jestli je se spalovacím motorem či elektromotory.

Co se týče bezdrátové komunikace mezi vozem a členy týmu a RES, tak je zakázáno během dynamických disciplín měnit parametry vozu, posílat příkazy nebo dělat softwarové změny. Bezdrátová komunikace je povolena pro RES. Je to pouze jednosměrná telemetrie a slouží k informování o chování vozu.

Software nebo algoritmy založené na předem nahrané trati jsou v rozporu s pravidly a vozidlo nesplňuje podmínku driverless.

Každý vůz musí mít dálkově ovládaný nouzový systém tzv. Remote Emergency System (RES), který se skládá ze dvou částí, dálkového ovladače a modulu uvnitř vozu. Tento systém má dvě funkce. První je, že pokud zmáčkne tlačítko stop, tak ve vozu vypne definovaný obvod. Druhá funkce je pro traťové mashaly. Je to Race-control-to-vehicle a složí k poslání příkazu „Go“, které nahrazuje zelenou vlajku pro piloty. RES musí být připojen sériově k vypínacím tlačítkům. Pokud je auto v autonomním režimu, tak na určitém stanovišti musí být přítomen ASR s dálkově ovládaným RES. RES anténa musí být namontována na viditelném místě a nesmí být rušena, např. jinou anténou.¹⁴

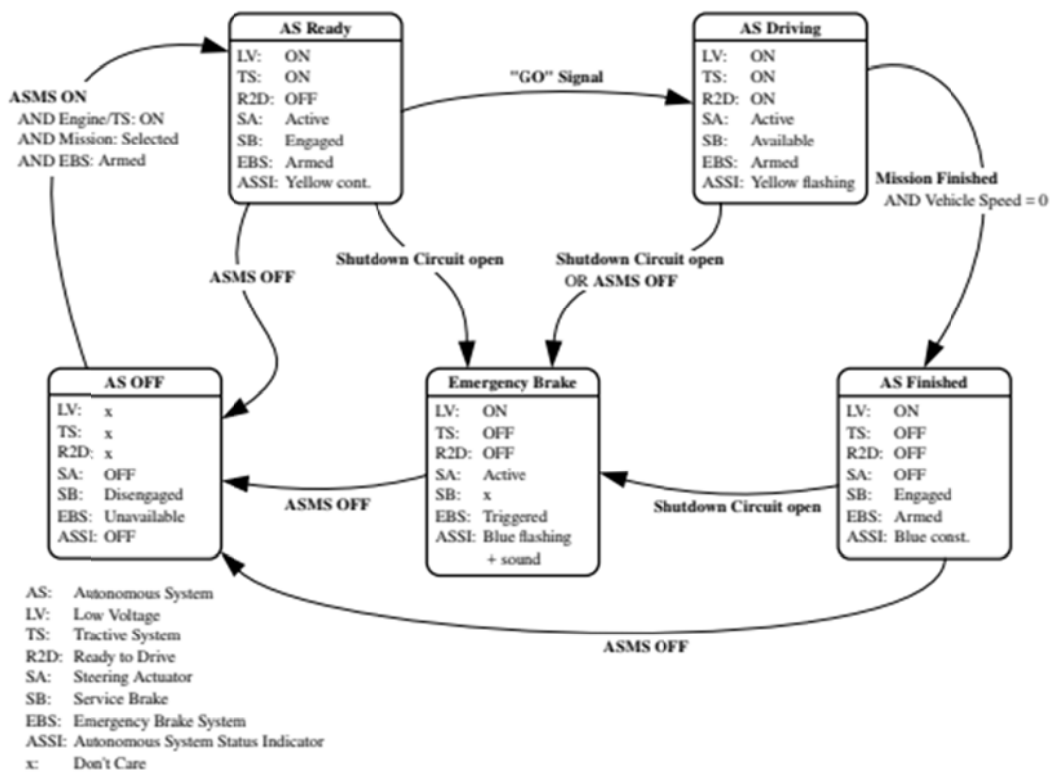
Pokud je u vozu vypnutý ASMS, auto je například v manuálním režimu, tak autonomní systém nemůže vstupovat do fungování řízení a brždění. Senzory však mohou zůstat v aktivním režimu. Vůz nesmí být zabržděn, aby mohl být tlačén. V tomto režimu vůz musí fungovat, jako klasický CV popřípadě EV. Dále je zakázáno přepínat ASMS do polohy zapnuto, pokud je ve voze pilot. ASMS může být zapnut pouze po obdržení pokynu od pořadatele závodu. Poté, co se zapne ASMS se vůz nesmí začít

¹³ FS Rules 2018, EV 5.11.3

¹⁴ FS Rules 2018, DV 1.4

pohybovat a brzdy musí být sevřeny. Toto je nazývané jako stav připravenosti a vyčkává se na pokyn „GO“ přes RES.¹⁵

Vozidlo musí být vybaveno třemi ukazateli stavu autonomního režimu. Nazýváme je Autonomous System Status Indicators (ASSIs). Jeden ukazatel musí být na každé straně vozu umístěný na main hoopu¹⁶ za hlavou pilota. Třetí ukazatel musí být v zadní části vozu na středové ose v blízkosti brzdového světla. Tyto ukazatele jsou LED světla na kontrastním pozadí a z jakékoli pozice kolem vozu musí být viditelný aspoň jeden.¹⁷



Obr. 3 Stavů a přechodových stavů autonomního režimu

Na Obr. 3 vidíme v jakých stavech nebo přechodech mezi stavy se může autonomní režim nacházet. Jiné stavy než tyto jsou zakázány.

¹⁵ FS Rules 2018, DV 2.2

¹⁶ Main hoop – hlavní oblouk konstrukce vozu, popsáno v FS Rules 2018, T 2.1.1

¹⁷ FS Rules 2018, DV 2.3

Část vozu	Stav	Následek
Řízení	vypnuto	je odpojen servopohon a je umožněno manuální řízení
	zapnuto	servopohon okamžitě reaguje na příkaz autonomního systému
Brzdy	odpojeno	pohon brzd je odpojen, je umožněno brzdit manuálně
	zapojeno	zabraňuje v pohybu na svahu až 15 %
	připraveno	pohon brzd okamžitě reaguje na příkaz autonomního režimu
EBS	nedostupný	pohon systému je odpojen, a tak není možný nouzový brzdňý manévr
	ozbrojený	pohon brzd okamžitě zahájí nouzový brzdňý manévr, pokud je okruh vypnut nebo je přerušný GLVS ¹⁸
	spuštěno	brzdy jsou sevřeny a mohou být uvolněny pouze vypnutím ASMS

Tab. 1 Tabulka popisující stavy a k nim následky¹⁹

Stav „Emergency Brake“ musí být indikovaný přerušovaným zvukem o frekvenci 1 až 5 Hz, hlasitosti 80 až 90 dBA a s délkou 15 až 20 s po spuštění nouzové brzdy.

Autonomous Missions znamená, co všechno musí zvládnout autonomní systém během závodu. Jsou to Acceleration, Skidpad, Trackdrive, EBS test a Inspection. Inspection se provádí při zvednutém autě a sundanými všemi koly. Postupně jsou vysílány sinusové pulzy pro řízení a pohon kol.²⁰

¹⁸ Grounded Low Voltage System – systém zemnění nízkého napětí

¹⁹ FS Rules 2018, DV 2.4

²⁰ FS Rules 2018, DV 2.5

Všechny týmy musí před soutěží odevzdat dokument zvaný Autonomous System Form (ASF), ve kterém je popsán jejich autonomní systém, všechny použité snímače, strukturovaný popis fungování EBS a popis celého systému řízení.²¹

EBS může být součástí hydraulického brzdového systému. V tom případě v autonomním režimu může být odpojeno ruční ovládání (pedál). EBS musí být navrženo, tak aby ho traťový maršal mohl snadno deaktivovat (například vypnutím ASMS) z důvodu posunutí vozu na trati v případě odstavení během závodu. Ke snadné deaktivaci slouží piktogramy a šipky s popisem „EBS release“. Pokud je na EBS porucha, tak se na palubní desce rozsvítí červené světlo s popisem EBS. Reakční doba²² nesmí přesáhnout 200 ms. Průměrné zpomalení musí být větší než 8m/s^2 za suchých podmínek.²³

Umístění senzorů je definováno obálkou hlavního oblouku, všemi koly a prostorem před vozidlem, jak je vyobrazeno na Obr. 4. Laserové snímače musí splňovat ochranné předpisy dané země. To musí být prokázáno předložením dokumentů ASF Add Item Request (AAIR).²⁴



Obr. 4 Mezní obálky pro umístění senzorů

2.6 Technical Inspections (IN)

Formule prochází technickou inspekcí. V závislosti na pohonné jednotce je rozčleněna na jednotlivé úkony. Driverless formule musí ještě k tomu projít Driverless Inspection a EBS test. Po technické inspekci jsou úpravy na vozu zakázány až na některé úkony. V případě vozu DV je povoleno pouze nastavení senzorů. EBS je

²¹ FS Rules 2018, DV 2.6

²² Doba mezi vstupním signálem a začátkem zpomalení

²³ FS Rules 2018, DV 3

²⁴ FS Rules 2018, DV 4

testováno dynamicky, kdy z rychlosti cca 40km/h musí vůz zastavit do vzdálenosti 10 m.²⁵

2.7 Static Events (S)

Pro kategorii DV platí Business Plan Presentation, Cost and Manufacturing, Engineering Design, kde je úprava ve formě Autonomous Design Report (ADR). V ADR se hodnotí použitý software, hardware a cíl fungování celého vozu. Disciplína Engineering Design je pro DV hodnocena 325 body, což je o 200 bodů více než v případě CV popřípadě EV. Důvodem je právě ADR.²⁶

2.8 Dynamic Event Regulations (D)

Zde zjišťujeme, že tým s DV musí mít minimálně jednoho řidiče, který musí být přítomen ve v kokpitu při manipulaci s vozem. Pro DV nejsou žádné traťové vlajky. Když je vůz v autonomním režimu, tak je ASR přítomen na „race control“ s RES. Kuželky pro DV jsou specifikovány v dodatku k určitému závodu. Jedná se o rozlišení pro kuželky vpravo a vlevo, start a cíl. Na startu není povoleno provést start vozu pomocí laptopu apod. Pokud vůz do 1 minuty od dotlačení na start není „AS Ready“, tak je vráceno do přípravné zóny. Pokud se během závodu vůz zastaví a nerozjede do 30 s, pak je vypnuto pomocí RES a diskvalifikováno.²⁷

Skidpad probíhá stejně, akorát vůz musí zastavit 25 m za časomírou.²⁸

Acceleration probíhá trati široké 3 m. Signál „GO“ říká pouze, že vůz může jet, čas se měří až po projetí startovní čárou. Po projetí cílem musí vůz zastavit do 100 m ve vymezeném prostoru.²⁹

Trackdrive je závod na 10 kol, přičemž jedno kolo má 200 až 500 m. Po projetí vozu cílem musí zastavit do 30 m. Poslední kolo není signalizováno, tzn. vůz si počítá kola sám. Během „course walk“ jsou zakázána zařízení jako kamery a senzory. Povolena jsou pouze analogová zařízení.³⁰

²⁵ FS Rules 2018, IN 6

²⁶ FS Rules 2018, S

²⁷ FS Rules 2018, D 2.5, D2.6, D 2.7, D 2.8

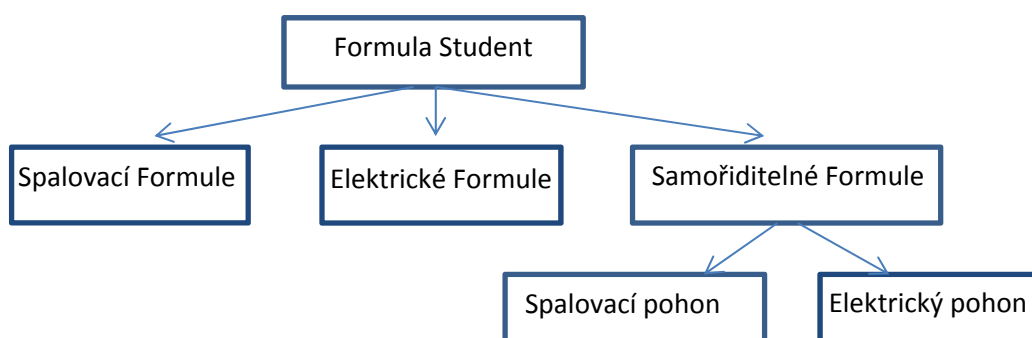
²⁸ FS Rules 2018, D 4

²⁹ FS Rules 2018, D 5

³⁰ FS Rules 2018, D8

3 Týmy a jejich koncepty vozu

V roce 2017 se na závody v Německu hlásilo 22 týmů. Z kapacitních důvodů se závodů zúčastnilo 15 týmů a 7 zůstalo na tzn. waiting listu³¹. Ze zúčastněných musím zmínit týmy KA-Racelng Driverless, Fast Forest Ghostdriver, AMZ Driverless, GreenTeam Driverless Uni Stuttgart a TUFast Driverless. Všechny tyto týmy prošly vývojem nebo odloučením z týmů, které vyvíjely formuli s elektrickým pohonem a patřily mezi špičku na světě. V roce 2017 byl na závodech i jeden tým se spalovacím pohonem, konkrétně FRT-Driverless. A nyní už víme, že v roce 2018 bude znovu zastoupen spalovací motor, týmem Formula Student Team Weingarten Driverless.³²



3.1 AMZ Driverless

Jelikož historicky prvním vítězem v soutěži Formula Student Driverless byl tým AMZ Driverless, tak se jím budu zabývat nejvíce. Stavba týmu je taková, že existuje tým AMZ Racing, který staví dva vozy, jeden EV a druhý DV. AMZ Racing vznikl v roce 2006 a stavěl formule se spalovacím motorem. Po třech letech přešel na formule s elektrickým pohonem. Pro rok 2017 přestavěli elektrickou formuli z roku 2015 na formuli driverless. Od té doby vyvíjejí dva vozy paralelně.³³

Technické parametry	
Konstrukce šasi	Jednodílný uhlíkový monokok s integrovanými závěsy ramen
Materiál	Uhlíková skladba s vysokým modulem a voštinovým jádrem
Rozměry délka / šířka / výška	2870 mm / 1438 mm / 1139 mm
Rozvor / Rozchod (Přední / Zadní)	1530 mm / 1200 mm / 1180 mm
Hmotnost bez pilota (Předek / Zadek)	82 kg / 103 kg
Počet motorů / Umístění / Max. výkon	4 / náboj kola / 4 x 37 kW
Kombinovaná kapacita akumulátoru	6,46 kWh

³¹ Waiting list je pořadí týmů, které se při přihlašování nestihly přihlásit. V případě odstoupení přihlášeného týmu je nahrazen týmem z waiting listu.

³² <https://www.formulastudent.de/teams/registered/2017/> [online]. [cit. 2018-07-01].

³³ <http://driverless.amzracing.ch/en/about> [online]. [cit. 2018-07-01].

Brzdový systém	Vlastně vyvinuté plovoucí kotouče, průměr 190 mm, nastavitelné rozložení brzd
Výkon procesní jednotky	368 GLFOPS
Spotřeba energie procesní jednotky	136 W
Kamery	Vlastně vyvinutá inerciální stereofonní kamera založená na synchronizaci pomocí škály šedé barvy založené na FLIR Blackfly
Radar	-
Lidar	Velodyne Puck VLP-16, umístěn na předním křídle
Ostatní senzory	SBG Ellipse-N Setrvační navigační systém, Kistler Correvit SFII snímač rychlosti
Přednosti DV	Vlastní výpočetní a sensorové nastavení, senzor proti selhání jednotlivých snímačů, LiDAR SLAM, vizuálně-inerciální SLAM, nelineární model predikce řízení, celková hmotnost celého systému 12 kg

Tab. 2 Tabulka parametrů vozu týmu AMZ Driverless³⁴



Obr. 5 Vůz týmu AMZ Driverless

Na tomto vozu jsou použity senzory LiDAR³⁵, stereo kamery umístěné v horní části hlavního oblouku, inerciální navigační systém³⁶, senzor pozemní rychlosti³⁷ a

³⁴ Formula Student Germany Magazine 2017, str. 123

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2017/PR/FSG2017_magazine_v20170726_L_Q.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

³⁵ LiDAR (Light Detection And Ranging) je metoda pro dálkové měření na základě výpočtu šíření pulzu laserového paprsku

³⁶ Inerciální navigační systém je navigační systém založený na soustavě gyroskopů a měření sil v ložiscích rotujícího setrvačníku

³⁷ Známe spíše jako ground speed senzor a funguje na principu Dopplerova jevu, kdy se vysílá paprsek proti zemi

odometrie všech kol. Na *Obr. 6* vidíme snímky ze stereo kamery, na kterých jsou modré a žluté kužely. Modré kužely tvoří levý okraj tratě a žluté pravý. Na *Obr. 7* je vidět záznam z laserového skeneru. Tyto data jsou pak vstupními do softwaru. Do softwaru vstupují ještě data z odometrie, inerciálního navigačního systému a senzoru pozemní rychlosti, které nám říkají pozici v souřadnicích, rychlost a zrychlení.



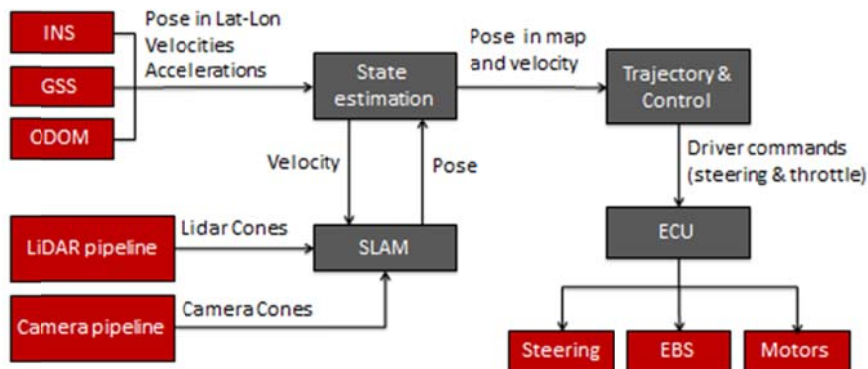
Obr. 6 Obrázky ze stereo kamery



Obr. 7 Obrázek z běžné kamery (vlevo), obrázek z laserového skeneru (vpravo)

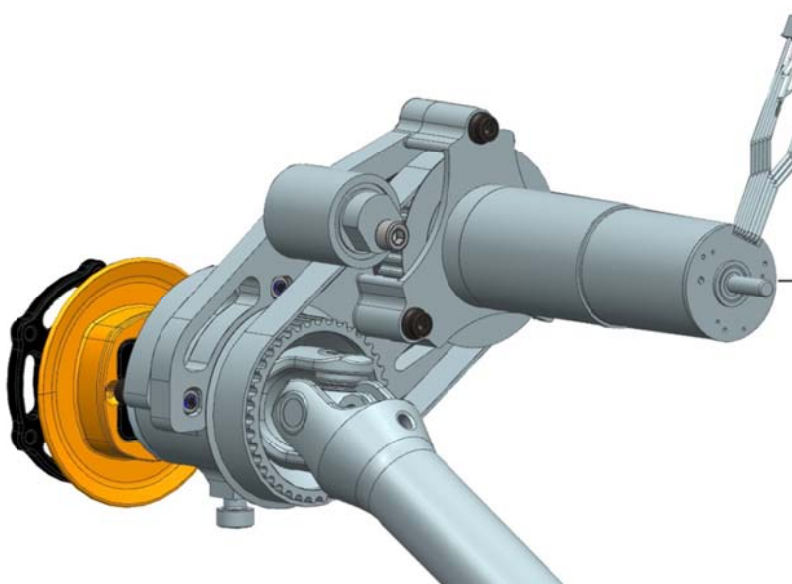
Celý software má koncept ukázaný na *Obr. 8*. Když si popíšeme tento diagram, tak vlevo nahoře (červeně) jsou vstupní data ohledně pozice, rychlosti a zrychlení. Vlevo dole (červeně) máme vstupní data o trati, jsou to data z kamer a říkají nám, kde se nachází kuželky. Data o kuželkách vstupují do SLAM³⁸. Data, ohledně pohybu vozu, vstupují do tzn. state estimation, kde probíhá proces s Kalmanovými filtry a komunikace s SLAM. Na základě této komunikace se vyhodnotí rychlost a pozice v naskenované mapě. Po dalším vyhodnocení putují signály do výstupů celého systému. Výstupem rozumíme řízení, motory a EBS.

³⁸ SLAM je pro určování lokalizace a mapování. Je založena na filtraci dat a extrakci nejdůležitějších bodů.



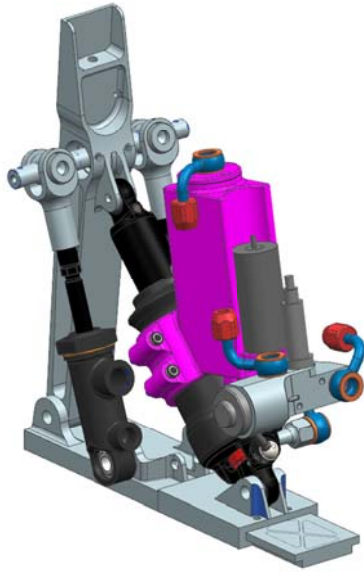
Obr. 8 Schéma fungování autonomního systému

System řízení funguje pomocí krokového motoru, který je spojený s řídicí hřídelí pomocí ozubené řemenice, jak je vidět na Obr. 9.



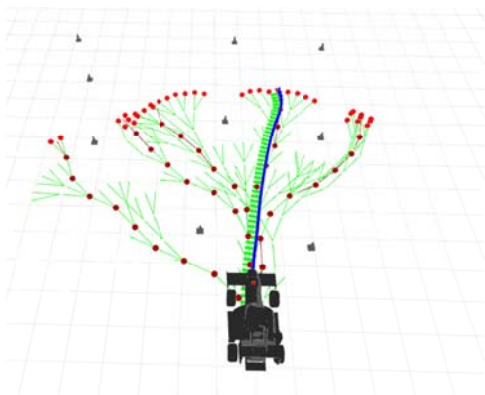
Obr. 9 Aktuátor pro řízení

Brzdový systém se týká hlavně úpravy brzdového pedálu, jak je vidět na Obr. 10. Je tam pružina, která ve výchozí pozici táhne za pedál, takže auto brzdí. Pokud chceme odbrzdit, tak k tomu slouží hydraulický systém několika válců. Po zaktivování jednoho válce se vytvoří v okruhu tlak a pedál se odtlačí a vůz se může pohybovat. Jeden z válců je elektronicky připojen přímo na nouzový systém a další na softwarový systém. Kdyby nastal jakýkoli problém, tak se brzdy zablokují a vůz se nemůže pohybovat.

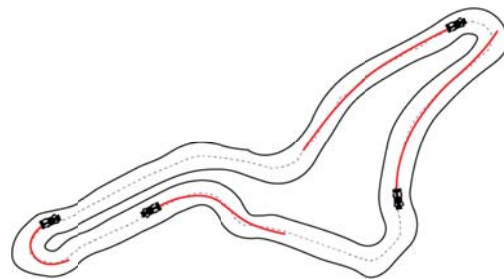


Obr. 10 Mechanismus pro systém brzd

To kudy má vůz jet je úkolem senzorů. Ty mají spolehlivý dosah 8 metrů. Když vůz nezná celou mapu, tak si musí hledat cestu. Pomocí algoritmů vypočítává všechny možnosti. Na *Obr. 11* je vidět, že to jsou takové rozvětvené cesty, které se pak porovnávají s požadavky na správnou cestu, jako jsou například modré kuželky míjet na levé straně a žluté na straně pravé. Jelikož není známa mapa, tak se první kolo jede pomaleji než ostatní kola, kdy už je mapa známá. Pomocí GPS vůz po projetí celého kola zjistí, že se nachází ve výchozím bodě a software pospojuje polohu kuželek křivkou a máme mapu celé trati. Když známe celou trať, tak může dojít k optimalizaci trajektorie, jak je vidět na *Obr. 12*. Cílem je také zajistit v určitých úsecích trati maximální rychlost.



Obr. 11 Větvení možností trasy



Obr. 12 Kompletně zmapovaná cesta

3.2 KA RaceIng Driverless

Dalším tým, který bych zmínil, je tým KA-RaceIng Driverless. V roce 2017 se soutěže zúčastnil vůz KIT 17D, který je poháněn elektromotory. Tento vůz byl vybaven třemi kamerami, které byly umístěny na vrchu hlavního oblouku, a dvěma laserovými skenery, které byly umístěny po stranách monokoku, protože kvůli tvaru špičky není možno umístit jeden laserový skener na přední křídlo. Autonomní systém byl poháněn jednotkou od společnosti Nvidia, která sbírala data, vyhodnocovala a plánovala trajektorii. Systém brzdění při statické poloze je plně redundantní pneumatický a při pohybu je brzdový pedál hydraulicky odtlačován. Pro přesné ovládání řízení je použit střídavě stejnosměrný motor. Celá komunikace elektroniky probíhá přes sběrnici CAN. Vlastně vyvinuté živé sledování telemetrie. Mimo jiné jsou ve voze řídicí jednotky pro systém pohonu, chladícího oběhu, řízení dynamiky vozu a DRS.³⁹

Problém s optickým senzorem rychlosti nastává v podmínkách, na které nebyl testován, jako je např. déšť. To se stalo právě na prvním závodě této disciplíny této soutěže. Optický senzor rychlosti je totiž určen především pro suché podmínky. Tento problém zapříčinil, že závod deseti kol dokončil málokterý vůz, avšak nejlépe se s ním vypořádal tým AMZ Driverless a jako druhý skončil KA-RaceIng Driverless.⁴⁰



Obr. 13 Vůz týmu KA-RaceIng Driverless KIT 17D

3.3 TUW Racing

Tým z technické univerzity ve Vídni se zúčastnil soutěže s vozem poháněným vlastně vyvinutým elektromotorem. Software je založený na systému ROS (Robot

³⁹ <https://www.ka-raceing.de/fahrzeuge/kit-driverless/kit-17d.html>

⁴⁰ <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/students-race-driverless-cars-in-germany-in-formula-student-competition>

Operating System). Pro mapování trasy jsou použity algoritmy SLAM a celý systém komunikuje přes sběrnici CAN. Pro ovládání řízení je na hřídeli řízení krokový motor a na pedálech je lineární pohon. Brzdový pedál je řešen pomocí akumulátoru tlaku. Při statické poloze nebo poruše se tlak uvolní a vůz začne brzdit. Na voze je přítomen jeden laserový snímač umístěný pod špičkou na předním křídle, jedna stereofonní kamera na hlavním oblouku a otický snímač rychlosti. Telemetrie vozu je možná sledovat v živém přenosu pomocí LTE.⁴¹



Obr. 14 Vůz týmu TUW Racing

3.4 Team Starcraft Driverless

Team Starcraft Driverless představil vůz TSC-3PO. Tento vůz je vybaven dvěma kamerami z herní konzole PS3⁴², konkrétně to jsou optické části celého senzoru pohybu PS3 Eye. Jako dálková detekce je použit laserový senzor Allied Vision Manta G 125 C. Vůz je dále vybaven IMU LPMS Canal, což je setrvačná měřící jednotka, která nám říká, jak se vůz pohybuje. Pro určení polohy vozu slouží NEO M&Z GPS-MODULE. Pro snímání rychlosti a polohy se využívá ADNS 3080. Poslední dva senzory jsou

⁴¹ <http://racing.tuwien.ac.at/cars/edge8d/> [online]. [cit. 2018-07-10]

⁴² PlayStation3

doplňky k Arduino⁴³, takže o tomto vozu můžeme říct, že je s omezeným rozpočtem a je stavěn z volně dostupných zdrojů. Software je vystavěn pomocí C++, Matlab a jeho platformě Simulink, OpenCV⁴⁴ a ROS (Robot Operating System).⁴⁵



Obr. 15 Vůz týmu Team Starcraft Driverless

3.5 Revolve NTNU Driverless

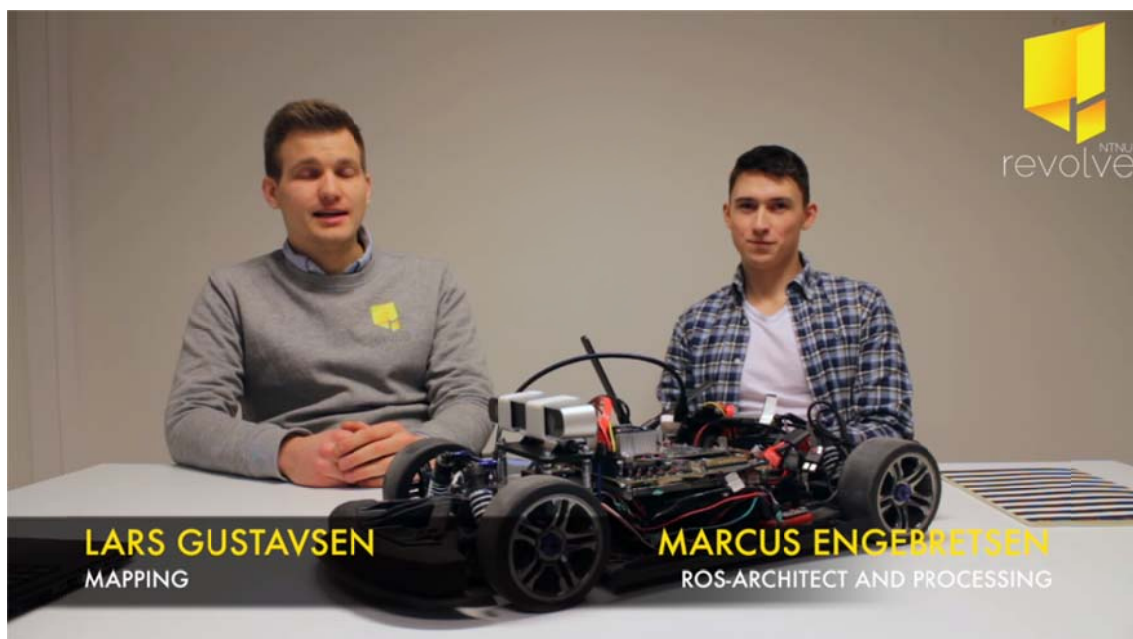
Tento tým je nově vzniklý a o jeho vozu se toho nedá moc zjistit, ale díky jejich kanálu na Youtube, kde představují, jak fungují jednotlivé prvky driverless formule, se můžeme dozvědět, jak přesně funguje SLAM a jiné prvky. Zároveň nám ukáží, jak vypadá takové testování autonomního systému na RC modelech.⁴⁶

⁴³ Arduino je volně šiřitelná elektronická prototypová platforma, která se může rozšířit o různé doplňky.

⁴⁴ OpenCV je volně šiřitelná knihovna pro práci s obrazem a jeho zpracováním v reálném čase.

⁴⁵ <https://www.teamstarcraft.de/tsc-4e-3/> [online] [cit. 2018-07-10]

⁴⁶ <http://www.revolve.no/driverless-vehicle/> [online] [cit. 2018-07-10]

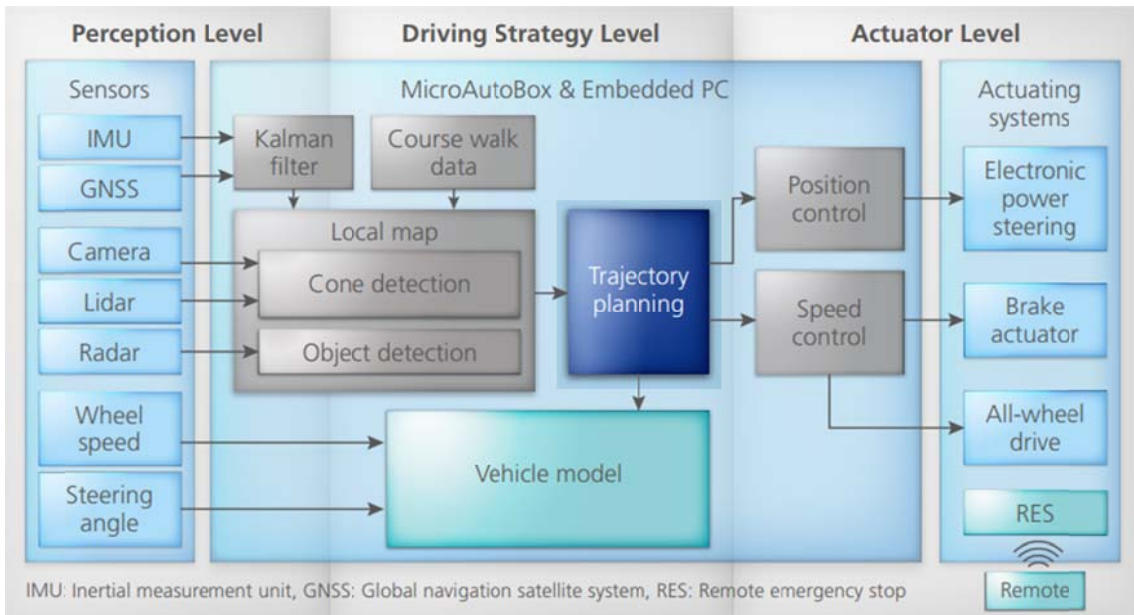


Obr. 16 Představení testovacího vozu

3.6 StarkStrom Driverless⁴⁷

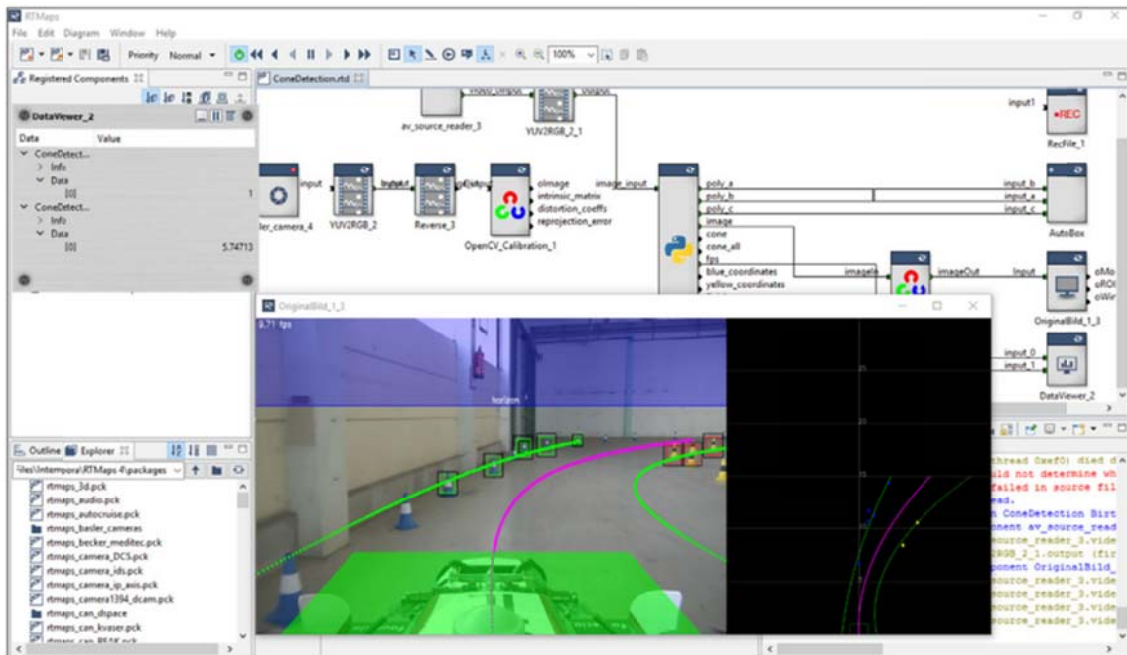
Tento tým začal s vývojem samořiditelného vozu už v roce 2015. V tomto roce byl řízen pouze pomocí GPS. Motivací samořiditelného vozu je přesná opakovatelnost průjezdu mezi kužely, což nemůže žádný pilot nabídnout. Vůz je samozřejmě vybaven laserovým senzorem pro měření vzdálenosti překážky a kamerou pro detekování překážky. Tento tým nám poukáže, že první kolo, kdy není známá trať, se vůz pohybuje maximální rychlostí 20 km /h. Při každém dalším kole se rychlost zvyšuje, protože poloha kuželů je přesnější. Pro kontrolu pohybu vozu tým používá MicroAutoBox. To je jednotka, která ovládá úhly řízení a brzdové příkazy, které řídí pohony. Počítač zpracovává snímky z laserového senzoru a z kamery a vytváří se tak trajektorie pomocí RTMaps (Real-time Multisensor). Pomocí jednotky MicroAutoBox a algoritmům vytvořených v prostředí Simulink je vůz schopen jet rychlostí až 90 km / h.

⁴⁷ https://www.dspace.com/shared/data/pdf/2017/12_Track%20Record_en.pdf [online]. [cit. 2018-07-10]



Obr. 17 Schéma fungování vozu

Podle tohoto schématu vidíme, že ovládání vozu je velmi podobné jako u vozu AMZ Driverless.



Obr. 18 Tvorba RTMaps



Obr. 19 Vůz týmu StarkStorm Driverless

Podle tohoto obrázku vidíme, že na hlavním oblouku je umístěna kamera jako u většiny týmů. Ve středu vozu na vrchu monokoku je umístěno GNSS (Global Navigation Satellite System). Vepředu, na křídle jsou umístěny dva laserové skenery.

4 Úprava vozu CTU CarTech pro účast na soutěži Formula Student Driverless

4.1 Elektronicky ovládaná škrtkící klapka

Pro přestavbu jsem si vybral loňský vůz týmu CTU CarTech FS.09. Jelikož je to formule se spalovacím motorem, tak o to by byla přestavba složitější. FS.09 má ovládání plynu přes lanko vedené v bovdenu. To je však pro DV zakázané, proto první úpravou by byl přechod na elektronicky ovládanou škrtkící klapku. ETC má dvě části. Jednu na plynovém pedálu, kde potenciometr, který snímá polohu právě tohoto pedálu. Druhá část je krokový motor na škrtkící klapce. Celý systém funguje, že sešlápnutí pedálu nám změří potenciometr a podle toho se natočí klapka. Čím více sešlápnu pedál, tím více se otevře klapka, a když pedál pustím, tak pružina vrátí pedál do výchozí polohy, taktéž i na klapce. Je to téměř stejné jako u mechanicky ovládané klapky. Vůz v autonomním režimu si klapku ovládá sám přímo přes motorek, a ne přes pedál.

Pravidla nám říkají, že na pedálu musí být umístěn senzor polohy plynového pedálu (APPS). Tento senzor musí být aktivován nožním pedálem a mít rozsah 0 až 100 %. Pedál musí být vybaven pružinami, které vrací pedál do polohy 0 %.⁴⁸ Takový to předpis pravidel nám dává určitou představu o vzhledu plynového pedálu.

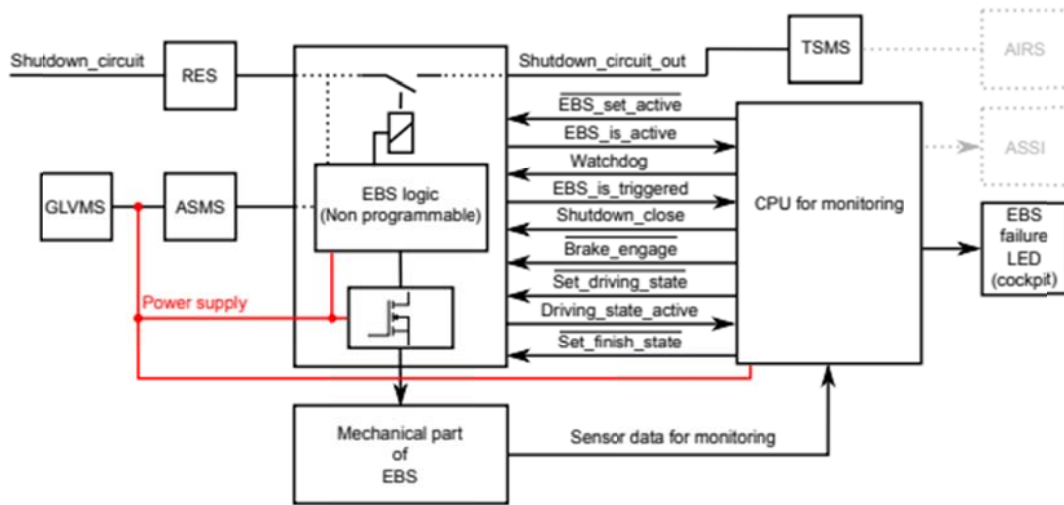
4.2 Brzdový systém

Návrh brzd včetně EBS nám pomůže udělat EBS Reference Guide⁴⁹. Po mechanické stránce bych se inspiroval u AMZ Driverless, protože i sám průvodce doporučuje, aby byl brzdový pedál ve výchozí pozici sešlápnutý a pro pohyb vozu byl postupně odtlačovaný. To znamená zase zvolit nějakou pružinu, která by nám sešlápla pedál a proti ní nějaký hydraulický systém. Hydraulický systém by měl píst, který by uvolňoval brzdový pedál. Další píst by sloužil ke zvýšení tlaku v okruhu, přes elektrický impuls po vyhodnocení softwarem. V okruhu by měl být snímač tlaku, který by složil jako zpětná vazba a také jako čidlo poruchy tohoto okruhu. Pokud by nastala porucha v tomto okruhu např. ztráta tlaku, tak vůz začne brzdit, díky pružinám. Elektronické vybavení

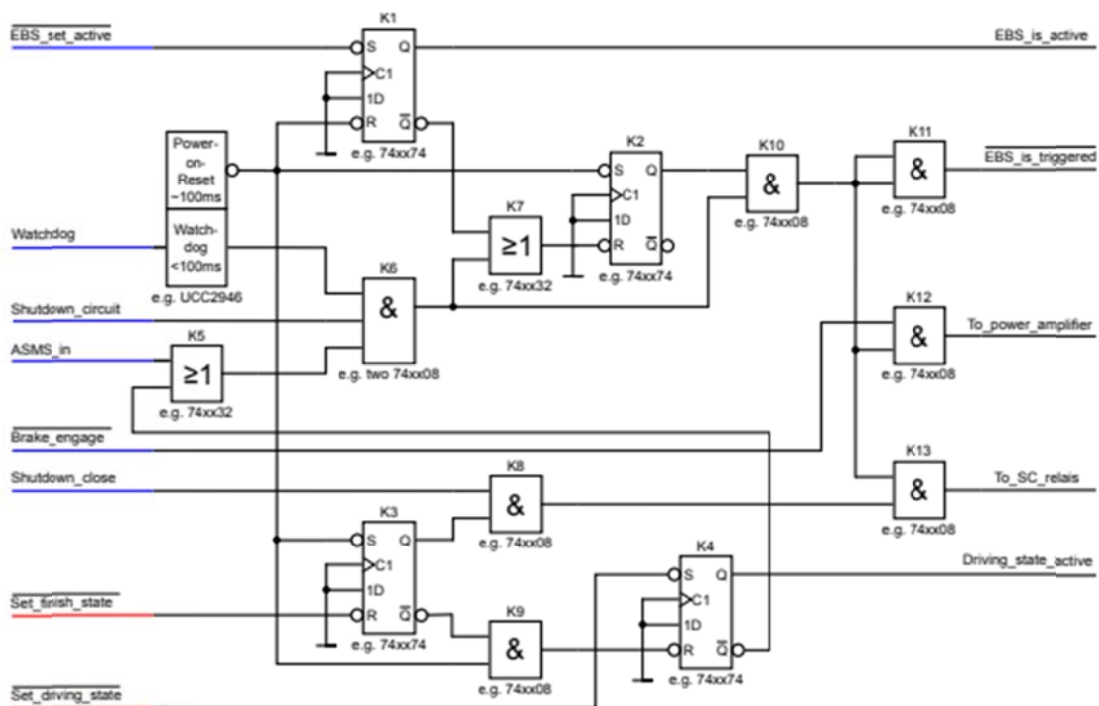
⁴⁸ T 10.3

⁴⁹ EBS Reference Guide je průvodce pro návrh EBS, tak aby správně fungoval (myšleno, tak aby splňoval pravidla)

brzd je vidět na Obr. 14. Vidíme, že tam je programovatelná a neprogramovatelná část. Blokové schéma neprogramovatelné části je na Obr. 15.



Obr. 20 Pracovní schéma pro fungování EBS



Obr. 21 Blokové schéma neprogramovatelné části EBS

4.3 RES

Vůz FS.09, jak hovoří pravidla, bychom museli také vybavit RES. RES má dvě části. Jedna je vysílač, který má ARS, a druhá je přijímač, která je přítomna ve voze a je

zapojena do hlavního okruhu. Competition Handbook pro daný závod nám přikazuje jaký typ vysílače a přijímače zakoupit. Pro závod v Německu je to GF2000i/T53R98 od firmy Gross-Funk GmbH^{50,51}. Toto zařízení je vyvíjeno přímo pro použití v soutěži Formula Student. K přijímači musí být připojena anténa, která musí být na viditelném místě. Jako vhodné místo bych považoval navrchu, vpředu monokoku, kde je manipulační otvor. Toto místo je viditelné a je blízko prostoru, kam bych umístil přijímač, což je za sloupkem řízení. Rozhraní tohoto přijímače může být Profibus nebo Profinet, což jsou datové sběrnice určené především pro oblast průmyslové automatizace. Komunikace s touto jednotkou probíhá pomocí CAN. Zároveň se k této jednotce dají připojit doplňující moduly pomocí DIN lišty.



Obr. 22 Vysílač a přijímač pro RES

4.4 Kamery

Důležité součásti, které je potřeba ještě umístit, jsou senzory a kamery. Kamery, které používá AMZ Driverless jsou vyvíjeny přímo týmem, takže na trhu jsou nedostupné. Použil bych běžně užívané ZED Stereo Camera⁵². Zaručená kvalita snímání venku a interiéru je 20 m. Od této vlastnosti se odvíjejí některé vlastnosti vozu jako např. maximální rychlost. Vlastností této kamery je prostorové vnímání díky sledování polohy šesti stupni volnosti. Vizualní odometrie je založena na poloze v prostoru

⁵⁰ https://f.fs-g.org/2017/important_docs/FSG2017_Gross-Funk_v20170126.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

⁵¹ FSG Handbook str. 17

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FSG2018_Competition_Handbook_V1.1.pdf [online] [cit. 2018-07-10]

⁵² ZED Stereo Camera: <https://www.stereolabs.com/> [online]. [cit. 2018-07-01].

v reálném čase a SLAM. Širokoúhlý celoskleněný objektiv nám umožňuje sledovat prostor před vozem v horizontální rovině v úhlu 110° a ve vertikální rovině 90°. Tyto parametry nám říkají, kam by bylo vhodné tento senzor umístit. Pro závodní vůz je důležitá i hmotnost a ta je u této kamery 159 g.⁵³

4.5 Laserový skener

Laserový skener bych umístil na přední křídlo, kde pro něj byl výběžek. Laserových skenerů je celá řada, záleží především na rozpočtu. Jeden z používaných skenerů je Hokuyo 20LX⁵⁴. Tento skener má úhel záběru 270° a pracuje na tak, že se otáčí, vysílá a přijímá signál. Na základě toho je schopen říci, jak je daný objekt daleko. Snímač může měřit až do vzdálenosti 20 m. Připojení toho senzoru je přes Ethernetový kabel. A celková hmotnost je 130 g.⁵⁵⁵⁶

4.6 GPS Modul

Další vybavení je modul GPS, pro snímání polohy vozu. Šel by použít ten, co byl běžně používaný FS.09. Je to GPS05 Module od společnosti AiM⁵⁷, který je jako doplněk k palubní desce. Tento modul komunikuje po CAN. Z měřených dat modul může vypočítat pozici, rychlost a zrychlení. Výhodou je, že není potřeba kalibrace. Hmotnost doplňku je 60,5 g.⁵⁸

4.7 Řízení

Pro správný pohyb vozu je důležitý inerciální navigační systém, který bych umístil za palubní desku nebo pod sedačku, aby byl blízko těžišti vozu. Také snímání otáček kol a ujetá vzdálenost je důležitá. Ale tyto parametry jsme monitorovali i voze FS.09. Úhel natočení kol je snímán nepřímo. A to pomocí bezkontaktního potenciometru, který snímá polohu natočení pastorku ve spodní převodce řízení. Potenciometr snímá úhel 0° až 360° a jeho kalibrace probíhá, že se nastaví volant jedné krajní polohy, což je 90°, a tato hodnota se přiřadí hodnotě mV vystupující

⁵³ http://www.stereolabs.com/zed/docs/ZED_Datasheet_2016.pdf [online]. [cit. 2018-07-10].

⁵⁴ <https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=167> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁵⁵ <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5aaa45931188a&location=browse> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁵⁶ https://en.manu-systems.com/HOK-UST-20LX_technical_specifications.pdf [online]. [cit. 2018-07-10].

⁵⁷ <http://www.aim-sportline.com/en/out-of-production/gps05-module/index.htm> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁵⁸ http://www.aim-sportline.com/download/doc/eng/gps/GPS05_102_eng.pdf [online]. [cit. 2018-07-10].

z potenciometru. To samé se pak provádí i na druhou stranu. Tento snímač posílá data do softwaru.

5 Změna struktury týmu a změna rozpočtu

V současné době má tým CTU CarTech 25 členů a tým eForce FEE Prague Formula má 55 členů. Pokud by na ČVUT měl vzniknout tým, který by stavěl driverless formuli, tak se nabízí tři možnosti. První je formovat tým CTU CarTech z vývoje CV na DV. Druhá je podobná akorát pro případ eForce FEE Prague Formula. Třetí možnost je vznik úplně nového. Jelikož jsem nastínil úpravy vozu týmu CTU CarTech, aby se mohl zúčastnit soutěže driverless, tak ukážu, jak by se musel změnit i tým.

5.1 Tým CTU CarTech Driverless

Tým je rozdělen na skupiny podle toho, co mají jednotliví členové na starost. Teď to jsou Engine, Suspension, Aerodynamics, Drivetrain, Chassis, Electro. Všechny skupiny by byly zachovány, a právě skupina Electro by musela projít určitým rozšířením. Kromě všech senzorů a snímačů teplot, které jsou ve voze nyní, by muselo přibýt vše výše zmíněné. To znamená dvakrát tolik práce jenom s tím to vše propojit, zapojit a umístit. Ve skupině by museli být přítomni lidé, kteří se vyznají v problematice programování, zpracovávání dat a ovládání elektroniky. Tím se otevírají možnosti pro studenty fakulty elektrotechnické a fakulty informačních technologií. Někteří studenti by ovšem museli mít již bakalářský titul, jak hovoří pravidla.

5.2 Změna rozpočtu

Velký nárůst rozpočtu by musel být očekávaný, hlavně, co se týče vybavení elektronikou. V Tab. 3 je soupis pouze senzorů, kamer a RES, což není veškeré vybavení driverless formule. Museli bychom připočítat návrh a výrobu různých řídicích jednotek. A není to jenom vybavení, ale z počátku by to chtělo více peněz do vývoje. Jako je například testování na RC modelech aut.

Vybavení	Cena (Kč)
ZED Stereo Camera	10 327
Hokuyo 20XL	63 250
GF2000i/T53R98	45 123
Součet	118 700

Tab. 3 Vybavení s cenou na úpravu na driverless

Většina nákladů by zůstala stejně jako při vývoji čistě spalovací formule. Vývoj formule driverless ovšem otevírá možnosti pro nové sponzory, hlavně z oblasti IT. U již

existujících týmů najdeme sponzory jako například Lenovo⁵⁹, Intel⁶⁰, Vector⁶¹ a NVIDIA⁶². Tým AMZ Racing spolupracuje s firmou Velodyne LiDAR⁶³ na laserových skenerech. Můžeme se také setkat s firmami, které se zabývají navigačními systémy například Advanced Navigation⁶⁴, Tesis⁶⁵ a resonic⁶⁶.

5.3 Časový harmonogram stavby vozu

Přechod týmu z CV na DV by byl velmi náročný a zabral by minimálně rok až dva. Tak předvedu, jak se změní harmonogram roku při vývoji vozu, právě bez přechodného období.

Časové období	Činnost
Říjen - Prosinec	Návrh náprav, úpravy chassis a motoru Vývoj softwaru pro autonomní systém Paralelní testování na modelu auta Návrh rozložení kabelového svazku
Leden - Květen	Výroba obráběných dílů Laminování kompozitních dílů Návrh a výroba řídicích jednotek Kompletace vozu
Květen - Červenec	Testování dynamických vlastností vozu Testování kritérií na AS daná pravidly
Červenec - Srpen	Účast na závodech

Tab. 4 Časový harmonogram týmu driverless

⁵⁹ <https://www3.lenovo.com/cz/cs/> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶⁰ <https://www.intel.com/content/www/us/en/homepage.html> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶¹ <https://vector.com/> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶² <http://www.nvidia.com/content/global/global.php> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶³ <http://www.velodynelidar.com/> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶⁴ <https://www.advancednavigation.com.au/> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶⁵ <https://www.tesis.de/virtual-test-drives/> [online]. [cit. 2018-07-01].

⁶⁶ <http://www.resonic.de/> [online]. [cit. 2018-07-01].

6 Závěr

Tato práce nám říká, že postavit driverless formuli není jednoduché. Když se koukneme na FSG v roce 2017, tak technickou přejímkou prošla třetina vozů, to naše tvrzení jenom potvrzuje. Pravidla nám velmi přesně říkají, jak má vůz správně fungovat a to nám určuje na, co je důležité se zaměřit.

Náročnost této disciplíny není jen ve stavbě vozu, ale také i na zdroje kvalifikovaných lidských zdrojů. Vývoj takového vozu není jenom záležitostí fakulty strojní, ale i fakulty elektrotechnické a fakulty informačních technologií.

Při stavbě vozu se tým musí vypořádat se zástavbou všech elektronických součástí (motorky, serva, apod.), kabelovým svazkem a všech senzorů. Důležité je také získání nových finančních zdrojů. Fabio Meier⁶⁷ říká: „*If you have extra budget, put in sensors.*“⁶⁸

Jelikož soutěž Formula Student Driverless má vzestupnou tendenci a téma driverless je hodně diskutované, tak má rozhodně smysl se tímto projektem zabývat nadále.

Zjištěním této práce je, že samořiditelná formule není pouze problém strojírenství. Znalosti strojařů se zde uplatňují v aplikaci pro zástavbový systém všech komponent a zajištění správného fungování mechanických částí. Zároveň nám některé týmy, i neznámé, ukazují, že postavit taková vůz není neřešitelný problém. Ukazuje se, že i s omezeným rozpočtem se takový vůz dá postavit.

⁶⁷ CEO týmu AMZ Driverless v roce 2017

⁶⁸ FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*

7 Zdroje

- [1] *Formula Student Rules 2018* [online]. FSG Board & Executive Committee, 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf

- [2] *Formula Student Germany* [online]. Datenschutz, 2017 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
<https://www.formulastudent.de/teams/registered/2017/>

- [3] *AMZ Racing* [online]. 2017 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
<http://driverless.amzracing.ch/en/about>

- [4] *Formula Student Germany Magazine* [online]. 2017, **2017** [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2017/PR/FSG2017_magazine_v20170726_LQ.pdf

- [5] FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich* [online]. 2017 [cit. 2018-07-01] Dostupné z:
https://www.youtube.com/watch?list=PLtuNXpG0PQ_Za0TTTCrrmf8cSyt31KTU7&v=KQLnXKJlh-E

- [6] *EBS Reference Guide* [online]. FSG Board & Executive Committee, 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/important_docs/FSG2018_EBS_Reference_Guide.pdf

- [7] *Mobile Radio Emergency Stop „Formula Student“* [online]. FSG Board & Executive Committee, 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: https://f.fsg.org/2017/important_docs/FSG2017_Gross-Funk_v20170126.pdf

- [8] *FSG Handbook* [online]. FSG Board & Executive Committee, 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z:
https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FSG2018_Competition_Handbook_V1.1.pdf

- [9] *Stereo Labs* [online]. 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: <https://www.stereolabs.com/>

- [10] *Hokuyo* [online]. 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: <https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=167>

- [11] *AiM* [online]. 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: <http://www.aim-sportline.com/en/out-of-production/gps05-module/index.htm>
- [12] ZEILINGER, Marcel, Raphael HAUKE, Markus BADER a Alexander HOFMANN. *Design of an Autonomous Race Car for the Formula Student Driverless (FSD)*. 2017, , 6.
- [13] *DSPACE Magazine* [online]. dSPACE, 2017(2) [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: https://www.dspace.com/shared/data/pdf/2017/12_Track%20Record_en.pdf

Obrázky

Obr. 1 Šablona pro kontrolu prostoru v kokpitu, FS Rules 2018, str. 38, *Figure 9: Cockpit opening template (left) and cockpit internal cross section template (right)*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 2 Prostory simulující sezení pilota, FS Rules 2018, str. 39, *Figure 11: Percy placement*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 3 Stavby a přechodové stavy autonomního režimu, FS Rules 2018, str.91, *Figure 19: AS state machine*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 4 Mezní obálky pro umístění senzorů, FS Rules 2018, str. 94, *Figure 20: Envelope to mount sensor systems*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 5 Vůz týmu AMZ Driverless, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 13, *Flüela*

Obr. 6 Obrázky ze stereo kamery, *Formula Student Driverless Split View 2017*, stopáž: 0:46

<https://www.youtube.com/watch?v=4ah5aZ09i6g> [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 7 Obrázek z běžné kamery (vlevo), obrázek z laserového skeneru (vpravo), FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 31, *Planning & Control*

Obr. 8 Schéma fungování autonomního systému, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 16, *Software concept*

Obr. 9 Aktuátor pro řízení, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 15, *Actuators*

Obr. 10 Mechanismus pro systém brzd, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 15, *Actuators*

Obr. 11 Větvení možností trasy, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 30, *Planning & Control*

Obr. 12 Kompletně zmapovaná cesta, FSG Academy 20171021 –Schaeffler & MathWorks přednáška: *Successful FSD Participation*, přednášející: *ETH Zürich*, str. 30, *Planning & Control*

Obr. 13 Vůz týmu *KA-RaceIng Driverless KIT 17D*

<https://www.ka-raceing.de/fahrzeuge/kit-driverless/kit-17d.html> [online]. [cit. 2018-07-09]

Obr. 14 Vůz týmu *TUW Racing*

<http://racing.tuwien.ac.at/cars/edge8d/> [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 15 Vůz týmu *Team Starcraft Driverless*

<https://www.teamstarcraft.de/wp-content/uploads/2017/11/TSC-3PO.png> [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 16 Představení testovacího vozu

<https://www.youtube.com/watch?v=clqOWzliIc> [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 17 Schéma fungování vozu

https://www.dspace.com/shared/data/pdf/2017/12_Track%20Record_en.pdf [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 18 Tvorba RTMaps

https://www.dspace.com/shared/data/pdf/2017/12_Track%20Record_en.pdf [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 19 Vůz týmu *StarkStorm Driverless*

https://www.dspace.com/shared/data/pdf/2017/12_Track%20Record_en.pdf [online]. [cit. 2018-07-10]

Obr. 20 Pracovní schéma pro fungování EBS, *FSG2018 EBS Reference Guide*, str. 2, *Figure 1: General EBS overview*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/important_docs/FSG2018_EBS_Reference_Guide.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 21 Blokové schéma neprogramovatelné části EBS, *FSG2018 EBS Reference Guide*, str. 3, *Figure 2: Logic diagram for EBS non-programmable logic part, (blue line = pull-down, red line = pull-up)*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/important_docs/FSG2018_EBS_Reference_Guide.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

Obr. 22 Vysílač a přijímač pro RES, *FSG Competition Handbook*, str. 19, *Figure 5: RES sender & receiver*

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FSG2018_Competition_Handbook_V1.1.pdf [online]. [cit. 2018-07-01].

8 Seznam příloh

Příloha č. 1: Datasheet camera ZED 2016

Příloha č. 2: Datasheet Scaning Laser ST 20LX

Příloha č. 3: Příručka k Modulu GPS05 AiM str. 54, 55

Příloha č. 4: CD s přílohami a s PDF verzí bakalářské práce

ZED



ZED Camera and SDK Overview

ZED DEPTH CAMERA The ZED is a stereo camera that provides high definition 3D video and depth perception of the environment. It has been designed for the most challenging applications, from autonomous navigation and mapping to augmented reality and 3D analytics.



ZED Detailed Specifications

Technical Specifications

Camera

Output Resolution	Side by Side 2x (2208x1242) @15fps 2x (1920x1080) @30fps 2x (1280x720) @60fps 2x (640x480) @100fps
Output Format	YUV 4:2:2
Field of View	Max. 110° (D)
Depth Range	1 m to 15 m (3.5 to 49 ft)
Baseline	120 mm (4.7")
Interface	USB 3.0 - Integrated 1.5m cable

Electronics

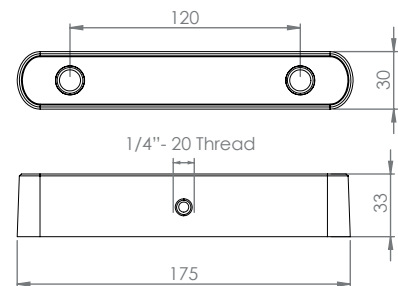
Sensor Type	1/2.7"
Active Array Size	4M pixels per sensor
Focal Length	2.8mm (0.11") - f/2.0
Shutter	Electronic synchronized rolling shutter
Pixel Size	2µm

General

Dimensions	175x30x33 mm (6.89 x 1.18 x 1.3")
Weight	159g - 0.35 lb
Power	380mA / 5V USB Powered
Operating Temperature	0°C to +45°C (32°F to 113°F)

Mechanical Drawing

Dimensions are in mm



System Requirements

Windows 7, 8 and 10 - 64 bit
Linux (Ubuntu 12.04/14.04) - 64 bit
USB 3.0 or USB 2.0 port

ZED SDK Requirements

Dual-core 2,4GHz or faster processor
Minimum 4GB RAM
Nvidia GPU⁽¹⁾ 1GB Memory

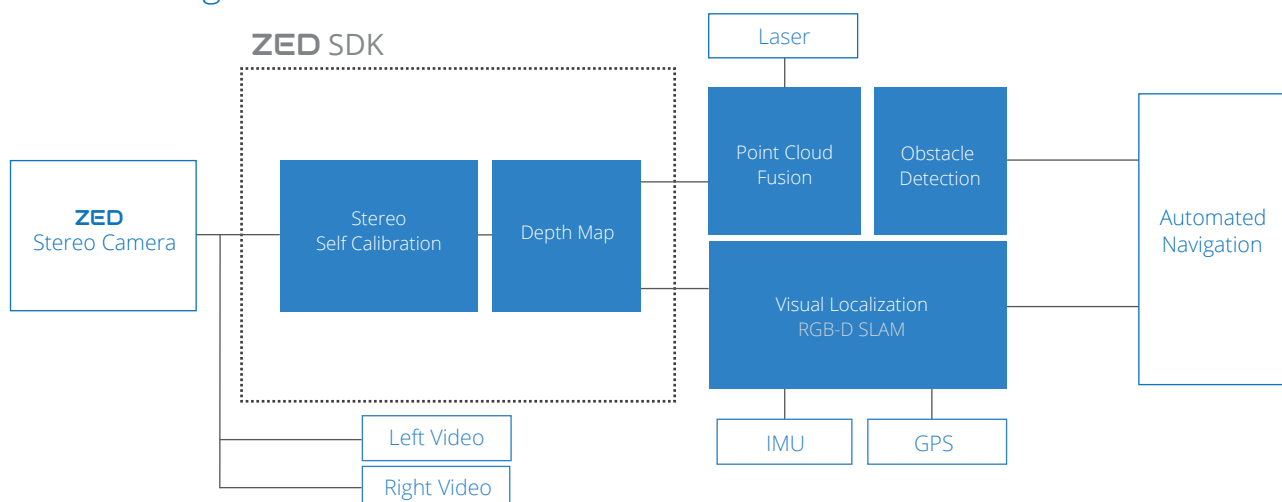
(1) Compute capability ≥ 2.0
Compatible with NVIDIA Tegra K1 and Tegra X1.

C++ Compiler:
Windows: Visual Studio 2012 or 2013
Linux: GNU Compiler collection (GCC)

Camera Control

The ZED is a UVC video camera with low level access to the device. Camera parameters such as frame rate, exposure time, white balance and gain can be controlled. ZED SDK also provides access to different resolutions such as side-by-side 1080p30, 720p60, VGA at 100fps, and a maximum resolution of 2208x1242 pixels at 15fps.

Use Case Diagram



Scanning Laser Range Finder Smart-URG mini UST-20LX (UUST004) Specification

CE
RoHS

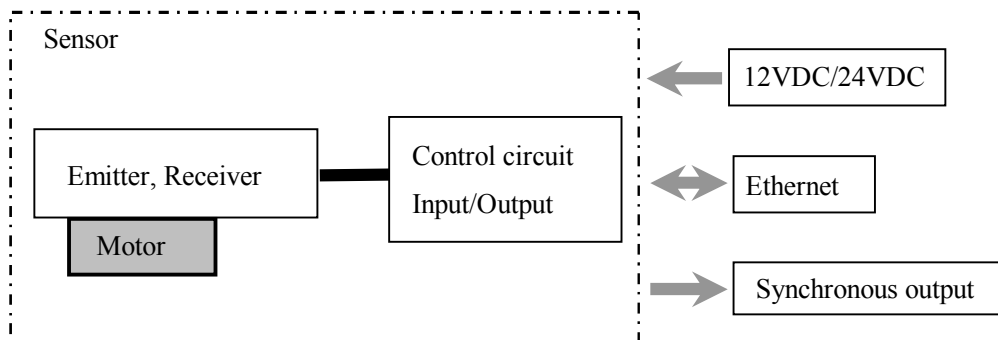
Symbol	Amended Reason	Pages	Date	Amended by	Ref.No
Approved by	Checked by	Drawn by	Designed by	Title	UST-20LX (UUST004) Specification
Kamitani	Utsugi	Kamon	Yamamoto	Drawing No.	C-42-04078 1/6

1. General

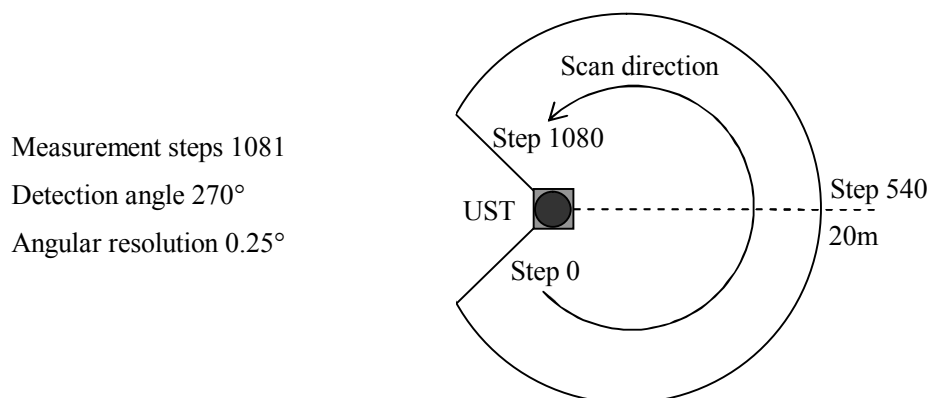
This sensor uses a laser source to scan 270° field of view. Positions of objects in the range are calculated with step angle and distance. Sensor outputs these data through communication channel.

2. Structure

2-1. Structure diagram



2-2. Laser scanning image



3. Important notes

- (1) This sensor is not a safety device/tool.
- (2) This sensor cannot be used for human body detection as per the machinery directives.
- (3) Hokuyo products are not developed and manufactured for the use in weapons, equipments or related technologies intended for destroying human lives or causing mass destruction. If such possibilities or usages are revealed, the sales of Hokuyo products to those customers might be halted by the laws of Japan such as Foreign Exchange Law, Foreign Trade Law or Export Trade control order. In addition, Hokuyo products are for the purpose of maintaining the global peace and security in accordance with the above law of Japan.

Title	UST-20LX Specification	Drawing No	C-42-04078	2 / 6
-------	------------------------	------------	------------	-------

4. Specifications

Product name	Scanning Laser Range Finder
Model	UST-20LX
Supply voltage	12VDC/24VDC (Operation range 10 to 30V ripple within 10%)
Supply current	150mA or less (during start up 450mA is necessary.)
Light source	Laser semiconductor (905nm) Laser class 1 (IEC60825-1:2007)
Detection range	0.06m to 20m (white Kent sheet) 0.06m to 8m (diffuse reflectance 10%) Max. detection distance : 60m
Accuracy	±40mm (*1)
Repeated accuracy	$\sigma < 30\text{mm}$ (*1)
Scan angle	270°
Scan speed	25ms (Motor speed 2400rpm)
Angular resolution	0.25°
Start up time	Within 10 sec (start up time differs if malfunction is detected during start up)
Input	IP reset input, photo-coupler input (current 4mA at ON)
Output	Synchronous Output, photo coupler open collector output 30VDC 50mA MAX.
Interface	Ethernet 100BASE-TX
LED display	Power supply LED display (Blue): Blinks during start up and malfunction state.
Surrounding intensity	Less than 15,000lx Note : Avoid direct sunlight or other illumination sources as it may cause sensor malfunction
Ambient temperature and humidity	-10°C to +50°C, below 85%RH (without dew, frost)
Storage temperature and humidity	-30°C to +70°C, below 85%RH (without dew, frost)
Vibration resistance	10 to 55Hz double amplitude of 1.5mm for 2hrs in each X, Y, and Z direction 55 to 200Hz 98m/s^2 sweep of 2min for 1hr in each X,Y and Z direction
Vibration resistance (Operating)	55 to 150Hz 19.6m/s^2 sweep of 2min for 30min in each X,Y and Z direction
Shock resistance	196m/s^2 (20G) X,Y and Z direction 10 times.
EMC standards	(EMI) EN61326-1:2013 EN55011:2009 + A1:2010 (EMS) EN61326-1:2013 EN61000-4-2:2009 EN61000-4-3:2006 + A1:2008 + A2:2010 EN61000-4-4:2012 EN61000-4-6:2009 EN61000-4-8:2010
Protective Structure	IP65
Weight	130g (Excluding cable)
Material	Front case: Polycarbonate, Rear case: Aluminum
Dimensions (W×D×H)	50×50×70mm (sensor only)

(*1) Under the factory standard testing conditions using white Kent sheet.

Title	UST-20LX Specification	Drawing No	C-42-04078	3 / 6
-------	------------------------	------------	------------	-------

5. Measurement Data

Distance Value (x)	Meaning
$x < 21$	Output numerical number "4" as Measurement error
$21 \leq x \leq 60000$	Valid distance [mm]
$x > 60000$	Output numerical number "65533" as Measurement error (object does not exists or object has low reflectivity)

6. Connection

6-1. Power source, I/O cable

Cable length: 1000mm Flying lead cable (AWG28)

Color	Signal
Red	COM Input +
Gray	COM Output -
Light Blue	IP Reset Input
Orange	Synchronous Output
Brown	+VIN (12VDC/24VDC)
Blue	-VIN

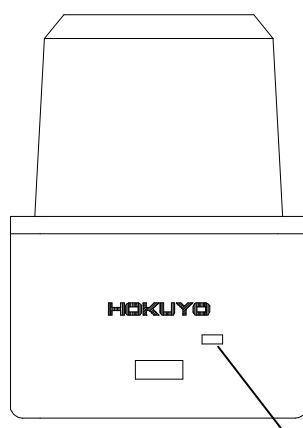
Note: Direction of Inputs and Outputs are mentioned from the sensor's side.

6-2. Ethernet cable

Cable length: 300mm

Color	Signal
Blue	TX+
White	TX-
Orange	RX+
Yellow	RX-

7. LED display

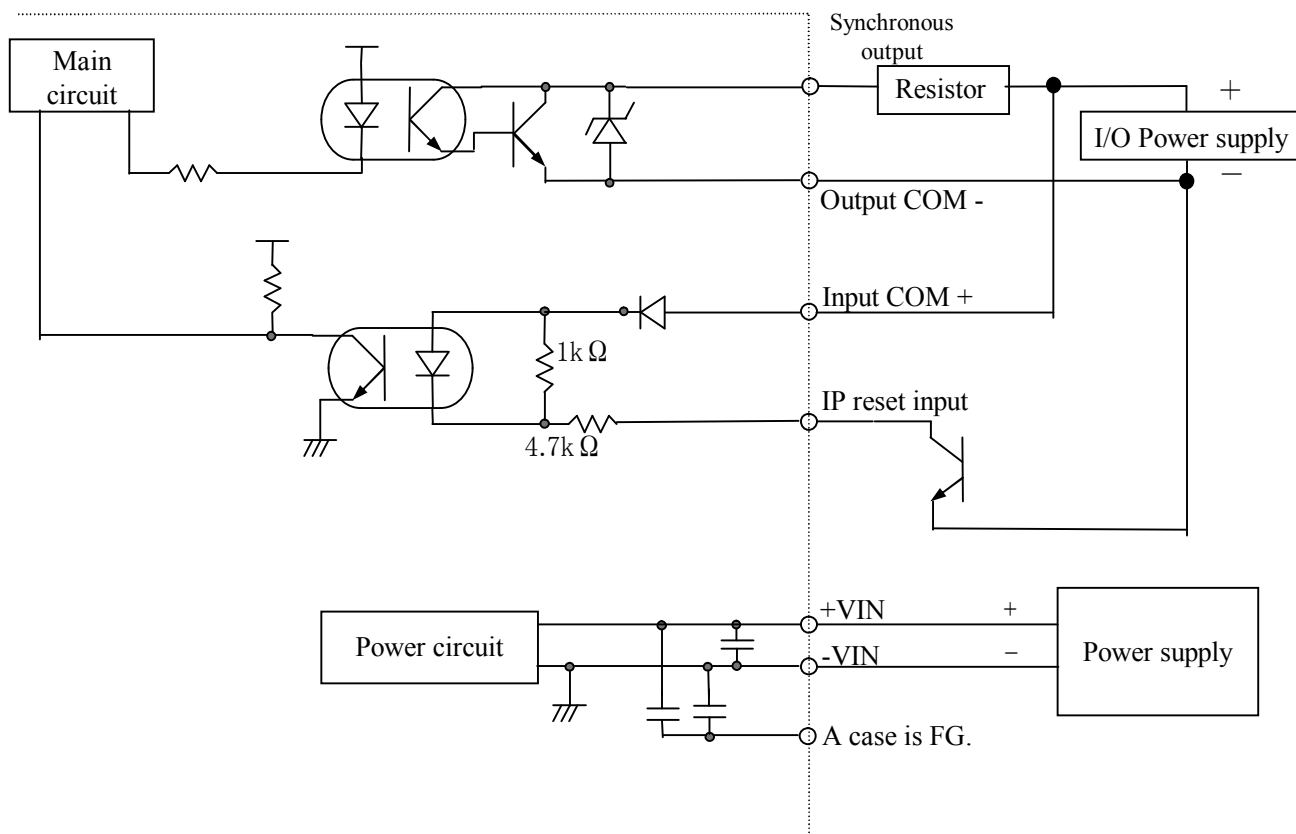


Power supply display

(Blinks during start up and malfunction state)

Title	UST-20LX Specification	Drawing No	C-42-04078	4 / 6
-------	------------------------	------------	------------	-------

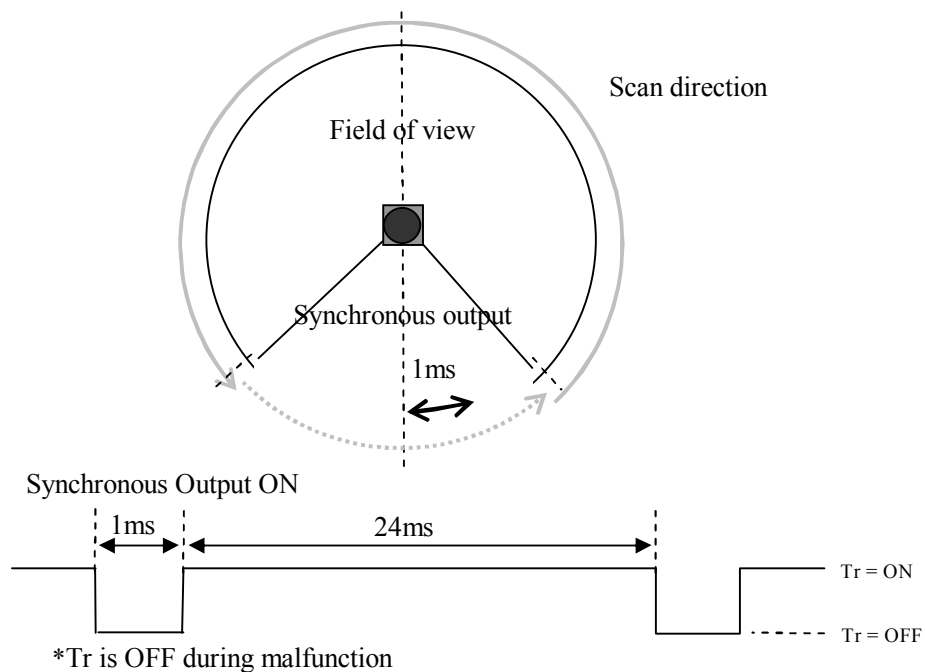
8. Output circuit



9. Control signal

9-1. Synchronous output

1 pulse is approximately 1ms. Output signal synchronization timing chart is shown as below.



Title	UST-20LX Specification	Drawing No	C-42-04078	5 / 6
-------	------------------------	------------	------------	-------

10. Ethernet Setting

1. The setting value is as below.

IP Initial value :192.168.0.10

Port number :10940

2. About Initialization of IP address

To reset IP address to the factory default value, connect IP RESET LINE to COM- for more than 2 sec.

After IP RESET LINE disconnected from COM- or opened, the sensor LED blinks and the sensor start to reboot.

11. Cautions for operation

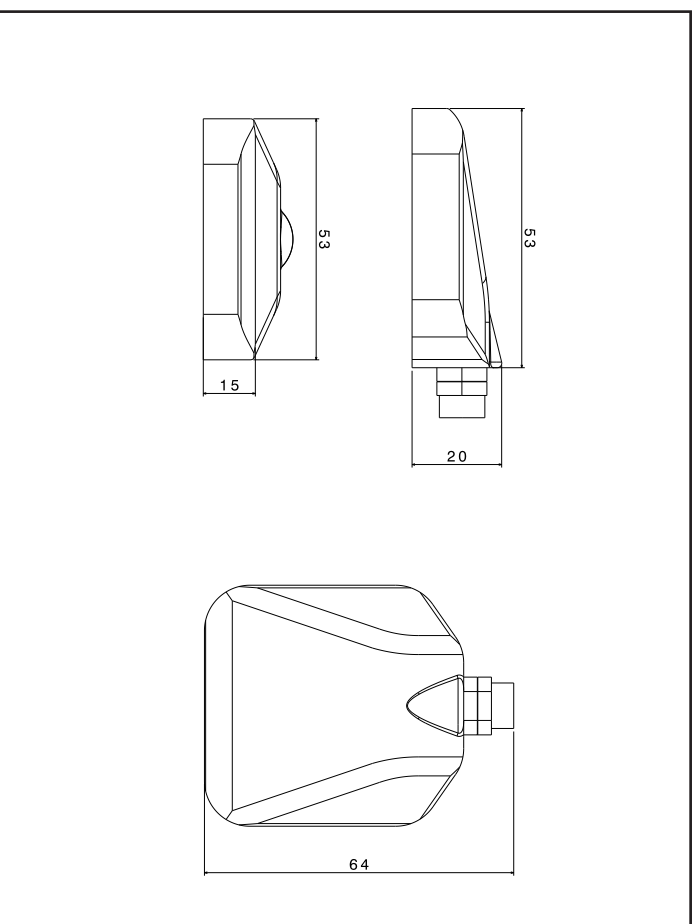
This sensor uses high speed processing components that generate heat during operation.

The heat is concentrated at the bottom of the unit. When mounting, please attach the bottom of the unit to a good heat sink. A 200mm x 200mm x 2mm aluminum plate is recommended as a heat sink.

If multiple sensors are installed side by side, a sensor might mistake the laser pulses of other units as its own and the detection error occurs. When it happens, usually the error lasts for one or two steps of measurement. Please use software filters to handle this type of error.

Title	UST-20LX Specification	Drawing No	C-42-04078	6/6
-------	------------------------	------------	------------	-----

GPS05 Module



- Vehicle position
 - Track map
 - CAN output (all parameters)
 - No calibration required
 - Cable length: 2 mt
 - Nylon box
 - Colour black
- Dimension mm. 64 x 53 x 20
 - Weight: 60,5 g
- 6 Channel
 - GPS speed
 - Lateral acceleration
 - Linear acceleration
 - GPS heading
 - GPS yaw rate
 - Satellite number



Our web site aim-sportline.com is constantly updated.

We try to share with you our experiences about our products and how to use them in the tracks all over the world.

Please, constantly check it and download the last versions of the firmware of your products.

