

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Fakulta elektrotechniky a informačných technológií
Katedra mechatroniky a elektroniky

28260620202003

**Infračervená kamera pre zariadenie pre
zabránenie zabudnutia detí v aute**

**5.5.2020
Bc. Štefan Mihalec**

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Fakulta elektrotechniky a informačných technológií
Katedra mechatroniky a elektroniky

**Infračervená kamera pre zariadenie pre
zabránenie zabudnutia detí v aute**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program: Výkonové elektronické systémy
Študijný odbor: Elektrotechnika
Školiace pracovisko: Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta elektrotechniky
a informačných technológií, Katedra mechatroniky a
elektroniky
Školiteľ: doc. RNDr. Juraj Pančík, CSc.
Konzultant:

5.5.2020
Bc. Štefan Mihalec



KATEDRA MECHATRONIKY A ELEKTRONIKY

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
tel.: 041/5131601 fax:041/5131524 e-mail: kme@fel.uniza.sk



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Meno: **Bc. Štefan MIHALEC**

Študijný program: Výkonové elektronické systémy

Názov diplomovej práce:

Infračervená kamera pre zariadenie pre zabránenie zabudnutia detí v aute

Pokyny pre vypracovanie diplomovej práce:

1. Opis aktuálneho stavu problematiky - rešerš literatúry
2. Systémová analýza pre vývoj vnoreného zariadenia infračervenej (IR) kamery na báze vybraného IR senzora
3. Návrh a realizácia demonštračného vzoru zariadenia a jeho overenie v praxi

Predpokladaný rozsah práce - počet strán textu: max. 50

počet strán grafických príloh: max.15

Školiteľ diplomovej práce: doc. RNDr. Juraj Pančík, CSc.

Konzultant diplomovej práce :

Dátum zadania diplomovej práce: **31. 10. 2019**

Dátum odovzdania diplomovej práce: **5. 5. 2020**

doc. Ing. Michal Frivaldský, PhD.
vedúci katedry

Abstrakt

V teoretickej časti diplomovej práce sa opisuje aktuálny stav problematiky, uvádzajú sa informácie o temokamerách a senzoroach.

V druhej časti diplomovej práce sa popisuje systém Car-e-Baby.

V tretej časti diplomovej práce sa popisuje návrh a realizácia demonštračného vzoru a jeho overenie v praxi. Sú vykonané merania vo vozidle, ktoré zahrieva slnko a sníma sa Fantómová figurína tak, aby sa overila funkčnosť demonštračného vzoru.

Prílohy obsahujú všetku vývojovú dokumentáciu vrátane softvéru.

Abstract

The theoretical part of the diploma thesis describes the current state of the issue, provides information about thermal cameras and sensors.

The second part of the thesis describes the Car-e-Baby system.

The third part of the thesis describes the design and implementation of a demonstration model and its verification in practice. Measurements are made in a vehicle heated by the sun and the Phantom Dummy is scanned to verify the functionality of the demonstration pattern.

The appendices contain all development documentation, including software.

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Katedra mechatroniky a
elektroniky

ANOTAČNÝ ZÁZNAM – DIPLOMOVÁ PRÁCA

Meno a priezvisko: Bc. Štefan Mihalec

Akademický rok: 2019/2020

Názov práce: Infračervená kamera pre zariadenie pre zabránenie
zabudnutia detí v aute

Počet strán: 74 **Počet obrázkov:** 68 **Počet tabuliek:** 5

Počet grafov: 0 **Počet príloh:** 7 **Počet použ. lit.:** 31

Anotácia v slovenskom jazyku:

Diplomová práca sa zaoberá aktuálnym stavom riešenej problematiky, informáciami o termokamerách a senzoroch, popisom systému Car-e-Baby a realizáciou demonštračného vzoru a jeho overením v praxi.

Anotácia v anglickom jazyku:

The diploma thesis deals with the current state of the problem, information about thermal imagers and sensors, a description of the Car-e-Baby system and the implementation of a demonstration model and its verification in practice.

Kľúčové slová: asistenčný systém vozidla Car-e-Baby, infračervený senzor Grid-EYE

Vedúci diplomovej práce: doc. RNDr. Juraj Pančík, CSc.

Konzultant:

Recenzent: _____

Dátum odovzdania práce: 5.5.2020

Obsah

Úvod.....	1
1 Vymedzenie základných pojmov predmetnej oblasti.....	2
1.1 Problematika zabudnutých detí v autách.....	2
1.2 Vývoj termovíznych a termografických kamier.....	4
1.2.1 História vývoja termokamier.....	4
1.2.2 Ako funguje termokamera.....	5
1.2.3 Termografia.....	5
1.2.4 Termopilové detektory.....	6
1.2.5 Termogram.....	7
1.2.6 Parametre termokamier.....	8
1.3 Popis použitého infračerveného senzora.....	9
1.3.1 Vybrané vlastnosti použitého infračerveného senzora Grid-EYE (AMG88)	11
1.4 Popis alternatívnych infračervených snímačov.....	12
1.4.1 Infračervený snímač teploty (32×24 RES) MLX90640.....	13
1.4.2 FLIR IR kamera iPhone a iPad.....	14
1.4.3 Mobil CATEPILAR S60.....	18
1.5 Vybrané vlastnosti použitého infračerveného senzora a termokamier	20
1.5.1 Noise Equivalent Temperature Difference.....	20
1.5.2 Emisivita.....	22
1.5.3 Vplyv horúcich objektov na merania.....	24
1.6 Popis vybraných asistenčných systémov vozidiel.....	26
1.6.1 Asistent monitorovania detí na zadných sedadlách od spoločnosti Hyundai	26
1.6.2 Pripomienka zadných sedadiel GMC.....	28
1.6.3 Rear Door Alert do firmy Nissan.....	29

1.6.4	Detekcia obsadenia vozidla senzormi mmWave.....	31
1.6.5	Radarový senzor Vayyar	35
1.6.6	Payton's Charm.....	37
1.6.7	Zariadenie pre zabránenie zabudnutia detí v aute Car-e-Baby.....	39
2	Systémová analýza systému Car-e-Baby.....	40
2.1	Analýza známych riešení systémov pre detekciu zabudnutých detí ..	40
2.1.1	Porovnávací analýza známych riešení.....	41
2.1.2	Analýza požiadaviek na systém Car-e-Baby.....	42
2.2	Systémová analýza zariadenia Car-e-Baby	43
2.2.1	Bloková schéma	45
2.2.2	Geometrická analýza	46
2.2.3	Citlivostná analýza	48
2.2.4	Dynamická analýza systému	49
2.2.5	Diskusia k analytickej časti	50
3	Návrh a realizácia demonštračného vzoru zariadenia a jeho overenie v praxi	52
3.1	Bloková schéma merania	59
3.2	Meranie č.1	60
3.3	Meranie č. 2.....	63
3.4	Meranie č. 3	66
3.5	Popis etáp vývoja softvéru	72
3.6	Diskusia k praktickej časti.....	73
	Záver	74
	Bibliografia	75

Obrázok 1: Rýchlosť stúpania teploty vo vozidle (ÚAMK, 2017)	2
Obrázok 2: Auto v tieni (Jozef Vydra, 2018)	3
Obrázok 3: Auto na slnku (Jozef Vydra, 2018)	3
Obrázok 4: Termopila s diferenčnou teplotou (Inst Tools, 2019)	6
Obrázok 5: Infrared Array Senzor Grid-EYE (AMG88) (Panasonic Industry, Europe, 2020)	9
Obrázok 6: Grid-EYE a pixelové pole (Panasonic Industry, Europe, 2020)	10
Obrázok 7: Bloková schéma senzora (Panasonic Industry, Europe, 2020)	11
Obrázok 8: MLX90640 (Melexis, 2019)	13
Obrázok 9: iPhone a kamera FLIR (m:zone.s.r.o.)	15
Obrázok 10: FLIR ONE 2 (m:zone.s.r.o.)	16
Obrázok 11: Termografický snímok auta s FLIR ONE 2 (m:zone.s.r.o.)	17
Obrázok 12: Tepelný a viditeľný obraz nasnímaný súčasne (2019 © FLIR ® Systems, Inc. , 2019)	17
Obrázok 13: CAT S60 (VASEK, 2016)	18
Obrázok 14: Tergrafický snímok bytovky s CAT S60 (VASEK, 2016)	19
Obrázok 15: Tergrafický snímok notebooku s CAT S60 (VASEK, 2016)	19
Obrázok 16: Zobrazenie šumového tepelného obrazu (MoviTherm, 2018)	21
Obrázok 17: Histogram všetkých hodnôt pixelov (MoviTherm, 2018)	21
Obrázok 18: Rovnaký objekt snímaný dvoma termokamerami s odlišným NETD (MoviTherm, 2018)	22
Obrázok 19: Energie pri meraní termografickou kamerou 1. (MoviTherm, 2018)	23
Obrázok 20: Energie pri meraní termografickou kamerou 2 (MoviTherm, 2018)	25
Obrázok 21: Energie pri meraní termografickou kamerou 3. (MoviTherm, 2018)	25
Obrázok 22: Prístrojový panel Hyundai (Karpát, 2018)	27
Obrázok 23: Tri ultrazvukové snímače (Karpát, 2018)	28
Obrázok 24: Rear Seat Reminder (GMC, 2018)	29
Obrázok 25: Rear Door Alert (Holmes, 2018)	30
Obrázok 26: Príklad použitia AWR1642 jedno čipového mmWave senzora v aute (Texas Instruments Incorporated, 2018)	31
Obrázok 27: Inštalácia snímača vln na strešné okno vozidla (Texas Instruments Incorporated, 2018)	32

Obrázok 28: Detekcia dieťaťa vo vnútri automobilu pomocou snímača mmWave (Texas Instruments Incorporated, 2018)	33
Obrázok 29: Senzor mmWave a snímanie dvoch ľudí sediacich na zadnom sedadle (Texas Instruments Incorporated, 2018)	33
Obrázok 30: Snímač mmWave deteguje možného narušiteľa za vozidlom (Texas Instruments Incorporated, 2018)	34
Obrázok 31: Radarový senzor Vayyar (Vayyar Imaging, 2020)	35
Obrázok 32: 4D bodový model dieťaťa vo vozidle (Vayyar Imaging, 2020)	36
Obrázok 33: Zariadenie do vozidla Payton's Charm (Coxworth, 2018)	37
Obrázok 34: Textové upozornenie Payton's Charm (Coxworth, 2018)	38
Obrázok 35: Car-e-Baby s infračerveným snímačom Grid-EYE	39
Obrázok 36: Blokovaná schéma systému Car-e-Baby	45
Obrázok 37: Vzťah medzi ľudským telom, veľkosťou pixelu a detekčnou vzdialenosťou 1 (Panasonic Industry, Europe, 2020)	46
Obrázok 38: Vzťah medzi ľudským telom, veľkosťou pixelu a detekčnou vzdialenosťou 2 (Panasonic Industry, Europe, 2020)	46
Obrázok 39: Zobrazenie Fantóma v aute	47
Obrázok 40: Snímok Fantóma pomocou senzora Grid-EYE	47
Obrázok 41: Citlivostná analýza senzora Grid-EYE (snímková frekvencia 1 snímok /sekundu a použitý bol kĺzavý priemer) (Panasonic Industry, Europe, 2020)	48
Obrázok 42: Detekcia prechádzajúcich ľudí (Panasonic Industry, Europe, 2020)	49
Obrázok 43: Vývojový diagram detekcie ľudí s odčítaním pozadia	51
Obrázok 44 MAXREFDES131 # (Maxim Integrated, 2019).	53
Obrázok 45: MAXREFDES132 # (Maxim Integrated, 2019)	54
Obrázok 46: Arduino Uno (Arduino, 2018)	55
Obrázok 47: Typy snímača teploty DS18B20 (LastMinuteEngineers, 2018)	56
Obrázok 48: Auriol IAN 291520 (Auriol, 2020)	56
Obrázok 49: Computherm Q3 RF (KurenjeZen, 2020)	57
Obrázok 50: iCarScan VCI (iCarScan VCI , 2020)	58
Obrázok 51: Blokovaná schéma merania	59
Obrázok 52: Graf merania č.1	61
Obrázok 53: Meranie č.1, začiatok merania o 13:43	61

Obrázok 54: Meranie č.1 o 14:13	62
Obrázok 55: Meranie č.1, koniec merania o 14:50	62
Obrázok 56: Graf merania č. 2	64
Obrázok 57: Meranie č. 2, začiatok merania o 12:09 - auto je ešte naštartované a beží klimatizácia	64
Obrázok 58: Meranie č.2 o 12:55	65
Obrázok 59: Meranie č. 2, koniec merania o 13:35	65
Obrázok 60: Graf merania č. 3	67
Obrázok 61: Meranie č. 3, začiatok merania o 14:17 - auto je naštartované a beží klimatizácia	68
Obrázok 62: Meranie č. 3, koniec merania o 15:42 - tesne pred otvorením vozidla	68
Obrázok 63: Meranie č. 3, po ukončení merania o 15:44 - pár sekúnd po tom, čo sa vozidlo otvorilo a začalo chladnúť	69
Obrázok 64: Meranie č. 3, po ukončení merania o 15:59 - vozidlo je zatvorené a beží klimatizácia	69
Obrázok 65: Obrázok z merania	70
Obrázok 66: Obrázok z merania	70
Obrázok 67: Obrázok z merania	71
Obrázok 68: Obrázok z merania	71

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Koeficienty emisivity pre rôzne materiály (MoviTherm, 2018)	24
Tabuľka 2: Porovnávací analýza známych riešení	41
Tabuľka 3: Meranie č.1	60
Tabuľka 4: Meranie č. 2	63
Tabuľka 5: Meranie č. 3	66

Zoznam skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
QWIP	Quantum Well Infrared Photodetector	infračervený fotodetektor
FPA	Focal-plane array	snímacie zariadenie pozostávajúce z poľa
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System	mikromechanický systém
PC	Inter-Integrated Circuit	sériová počítačová zbernica
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference	teplotný rozdiel ekvivalentný šumu
GMC	General Motors Truck Company	názov spoločnosti
EURO NCAP	European New Car Assessment Programme	konzorcium, ktoré vykonáva nárazové skúšky automobilov
OEM	Original Equipment Manufacturer	obchodný termín výrobcu zariadenia
MIMO	Multiple in and multiple out	systém viacnásobného prenosu informácií
DSP	Digital Signal Processor	digitálny signálový procesor
ROC	Radar on a Chip	radar na čipe
GPS	Global Positioning System	globálny lokalizačný systém
GSM	Global System for Mobile Communications	globálny systém mobilných komunikácií
Car-e-Baby	Car-e-Baby	asistenčný systém vozidla – vlastný názov pre účely výskumu
ABS	Anti-blockier-system	antiblokovací systém
ECU	Electronic control unit	elektronická riadiaca jednotka
Grid-EYE	Grid-EYE	názov senzora
USB	Universal Serial Bus	univerzálna sériová zbernica

Zoznam symbolov

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
t	[°C, stupeň celzia]	teplota
T	[K, kelvin]	teplota
%	[]	percento
l	[m, meter]	vzdialenosť
q	[W, watt]	tepelný tok
U	[V, volt]	napätie
f	[Hz, herz]	frekvencia
I	[A, ampér]	elektrický prúd
°	[°, stupeň]	uhlový stupeň
V	[l, liter]	objem

Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať konzultantovi mojej diplomovej práce, doc. RNDr. Jurajovi Pančíkovi, CSc., za jeho odborné vedenie a cenné rady, ktoré mi pomohli pri vypracovávaní diplomovej práce.

Úvod

S rastúcim počtom automobilov stúpa aj pravdepodobnosť zabudnutia dieťaťa v automobile. Podľa štatistík každý desiaty deň zomrie vo svete v prehriatom automobile jedno dieťa. Rodičia napriek tomu každodenne nechávajú v rozpálených autách a autosedačkách svoje deti. V dnešnej dobe, kedy sú v automobile doslova stovky snímačov pre funkčnosť motora, bezpečnosti cestujúcich a množstvu iných vecí, je dosť dôležité vytvoriť nejaký funkčný asistenčný systém proti zabudnutiu dieťaťa v automobile.

Diplomovú prácu môžeme rozdeliť na tri časti, v ktorých sa pokúsime rozobrať danú problematiku a navrhnúť riešenie, ktoré by nám zabránilo zabudnúť dieťa v automobile.

Prvá časť je vymedzenie základných pojmov predmetnej oblasti, kde sa zaoberáme problémom zabudnutia detí v aute. Ďalej v diplomovej práci popíšeme infračervený snímač Grid-EYE a jeho vlastnosti. Tento senzor použijeme v praktickej časti diplomovej práce. V prvej časti je ešte spomenutých pár príkladov asistenčných systémov, ktoré sa do vozidiel už montujú, alebo ich niekto testuje.

Druhá časť je systémová analýza systému Car-e-Baby. V tejto časti diplomovej práce sa zaoberáme tým, ako by bolo možné použitím infračerveného senzora a rôznych súčiastok zostrojiť asistenčný systém, ktorý by mal zabrániť zabudnúť dieťa v aute. Tento systém sme nazvali Car-e-Baby. Budeme sa snažiť vytvoriť asistenčný systém Car-e-Baby, jeho architektúru, blokovú schému, geometrickú a dynamickú analýzu.

Tretia časť diplomovej práce je návrh demonštračného vzoru zariadenia použitím infračerveného senzora Grid-EYE na vývojovej doske MAXREFDES131, ktorá je pripojená k vývojovej doske MAXREFDES132. Vývojová doska MAXREFDES132 má na zadnej strane PIN-y na pripojenie Arduino UNO, ktoré komunikuje s počítačom cez program Matlab, a ten nám vygeneruje obraz z infračerveného senzora Grid-EYE. Potom sme týmto demonštračným vzorom spravili merania v automobile, aby sme zistili pri akých teplotách dokážeme bezpečne rozoznať dieťa vo vozidle.

1 Vymedzenie základných pojmov predmetnej oblasti

1.1 Problematika zabudnutých detí v autách

Podľa štatistík, každý desiaty deň zomrie vo svete v prehriatom aute jedno dieťa. Rodičia napriek tomu každodenne nechávajú v rozpálených autách a v autosedačkách svoje deti. Čo sa môže dieťaťu stať, keď ho ponecháme samotné v aute, čo i len na pár minút?

Podľa obrázku môžeme vidieť, ako rýchlo sa dokáže vozidlo zohriať, ak ho necháme na slnku pri určitej vonkajšej teplote.

Vonkajšia teplota	Teplota vo vnútri vozidla podľa času			
	5 minút	10 minút	30 minút	60 minút
20°C	24°C	27°C	36°C	46°C
22°C	26°C	29°C	38°C	48°C
24°C	28°C	31°C	40°C	50°C
26°C	30°C	33°C	42°C	52°C
28°C	32°C	35°C	44°C	54°C
30°C	34°C	37°C	46°C	56°C
32°C	36°C	39°C	48°C	58°C
34°C	38°C	41°C	50°C	60°C
36°C	40°C	43°C	52°C	62°C
38°C	42°C	45°C	54°C	64°C
40°C	44°C	47°C	56°C	68°C

Obrázok 1: Rýchlosť stúpania teploty vo vozidle (ÚAMK, 2017)

Keďže v Európe alebo na Slovensku sa nám nepodarilo nájsť žiadnu štatistiku o úmrtnosti detí z dôvodu zabudnutia v aute, tak sme použili štatistiku počtu úmrtí v USA.

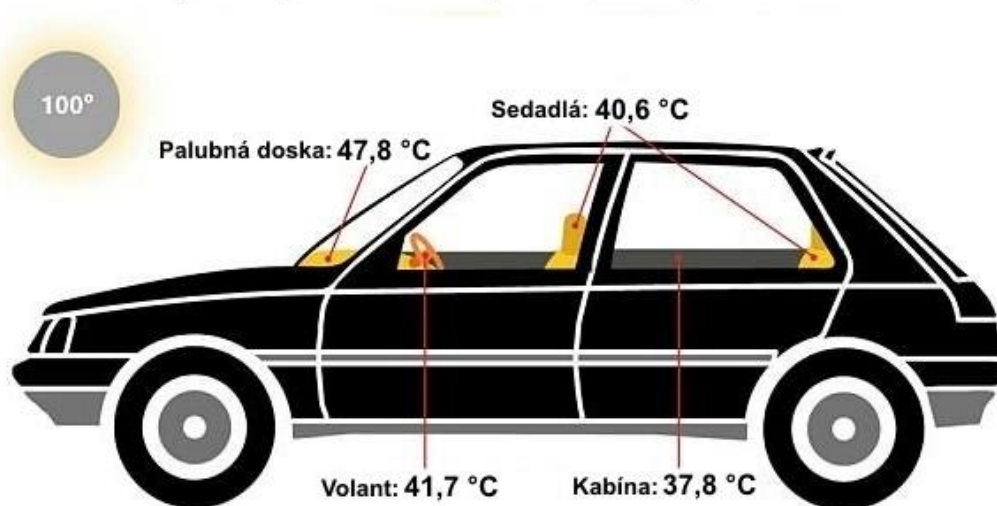
Preskúmanie mediálnych správ o 795 detských úmrtiach spôsobených úpalom motorových vozidiel počas 21 rokov (1998 až 2018) ukazuje tieto okolnosti:

- 53,8% - zabudnuté rodičom (429 detí)
- 26,2% - získaný prístup sám (209)
- 18,9% - vedome opustený rodičom (151)
- 1,0% - neznámy (8)

Deti, ktoré zomreli na úpal v USA (1998 - 2018), sa pohybovali vo veku od 5 dní do 14 rokov. Viac ako polovica úmrtí (54%) sú boli deti do 2 rokov.

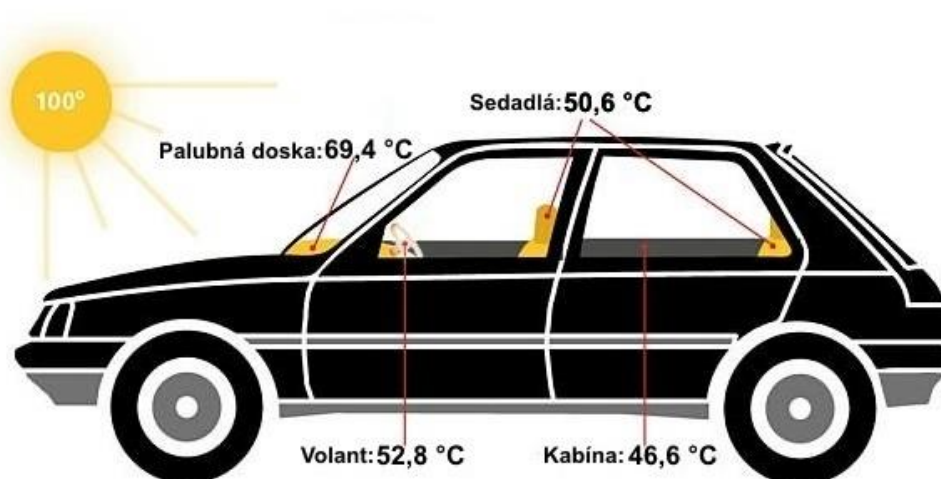
(Jan Null, 2020)

Auto parkujúce v tieni pri 37,8 °C počas 60 minút



Obrázok 2: Auto v tieni (Jozef Vydra, 2018)

Auto parkujúce na slnku pri 37,8 °C počas 60 minút



Obrázok 3: Auto na slnku (Jozef Vydra, 2018)

1.2 Vývoj termovíznych a termografických kamier

Po objavení infračerveného žiarenia Williamom Herschelom v roku 1800 a objavení termoelektrického efektu Thomasom Johannom Seebeckom v roku 1821, sa vedci pokúsili zmerať dlhovlnové žiarenie pomocou termočlánkov. Predovšetkým armáda prejavila záujem o toto neviditeľné tepelné žiarenie. Po druhej svetovej vojne hlavne ozbrojené sily investovali nemalé peniaze do výskumu v tejto oblasti. V poslednej tretine dvadsiateho storočia bola zaznamenaná veľká progresia vo vývoji infračervených detektorov. Boli zostrojené graciózne termokamery na meranie infračerveného žiarenia. Pomocou nových systémov vzrástol obzor možností využitia termografie aj mimo vojenskej oblasti. Postupom času vzbudila termovízia záujem aj v civilnom svete. Jej využitie je naozaj široké. Použitie si nájde v stavebnej termografii, v elektrotechnike, životnom prostredí, stavebníctve, či medicíne. Termovízia bude stále viac využívaná vo všetkých odboroch.

(NEW EFFECT, 2020)

1.2.1 História vývoja termokamier

1. Generácia

Prvé termokamery boli vyvinuté pre vojenské použitie v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch 19. storočia. Využívali sa jednoduché diskkrétne detektory s maximálne 100 prvkami, neskôr obsahovali až 180 elementov. Požívané materiály InSb, PbSe neskôr HgCdTe.

2. Generácia

Využitie skenovacieho systému spolu s lineárnymi alebo 2D FPA detektormi s počtom 100÷1000 elementov alebo multiprvkové SPRITE detektory. Teplotné rozlíšenie zlepšené na 0,1 K. Integrácia snímacích elementov a základnej čítacej logiky na jeden čip umožnili zmenšiť rozmery a hmotnosť. Začali sa vyrábať a predávať aj komerčné verzie. Ďalším vylepšením sú multilineárne FPA, tie dosahujú tepelné rozlíšenie až 0,05 K.

3. Generácia

Termokamery 3. generácie používajú na spracovanie signálu chladené 2D FPA detektory vyrábané z HgCdTe alebo InSb, nechladené mikrobolometrické FPA alebo technológiu QWIP. Počet elementov sa zvýšil na jeden a viac miliónov. Spracovanie signálu je plne digitálne a je realizované na jednom čipe. Nechladené typy termokamier sa vyznačujú nižšou kvalitou obrazu, ale ich hlavnou devízou je 2 až 4 krát nižšia cena ako u chladených typov.

(NEW EFFECT, 2020)

1.2.2 Ako funguje termokamera

Termokamera, čiže termovízna kamera, dokáže zachytiť oku neviditeľné infračervené žiarenie. Princíp merania termokamerou je taký, že meraný objekt vyžaruje infračervené lúče a časť ich odrazí od slnka. Objektív zachytáva žiarenie o vlnovej dĺžke 4-14 μm . Infračervené lúče dopadajú na snímač z oxidu vanadičného – BOLOMETER. Bolometer sa v závislosti na množstve absorbovaného infračerveného žiarenia začne ohrievať, a tým sa zmení jeho elektrický odpor. Termokamera vyhodnocuje zmeny odporu bolometra a vypočíta množstvo dopadajúcich infračervených lúčov. Hodnoty sú vypočítané a na displeji sa zobrazuje termovízny snímok, kde sú farebne odlíšené a rozdielne oblasti.

(NEW EFFECT, 2020)

1.2.3 Termografia

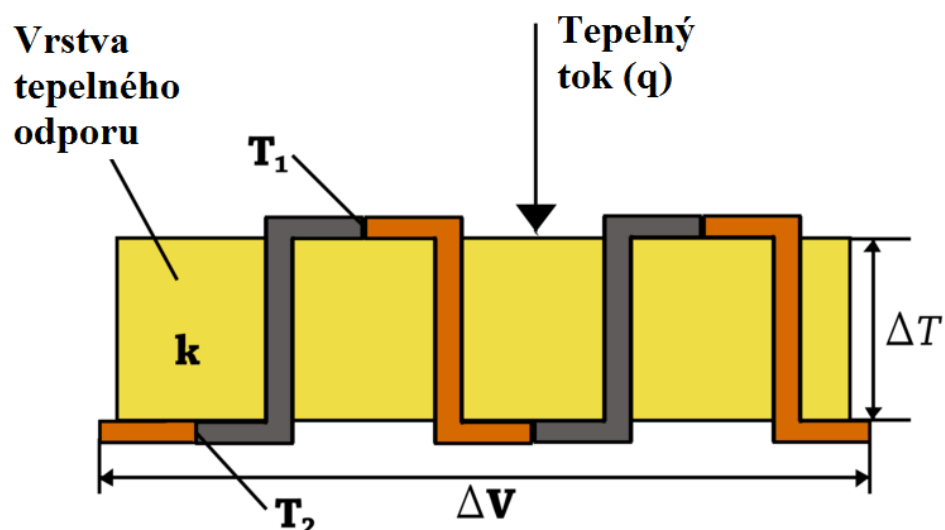
Je to vedný odbor a zaoberá sa analýzou rozloženia teplotného poľa na povrchu telesa bezkontaktným spôsobom. Hlavnou úlohou termografie je analyzovať infračervenú energiu, ktorú vyžarujú telesá. Termografickým meracím systémom je možné zachytiť teplotné pole meraného objektu na jeho povrchu. Termografia ako vedný odbor sa začal rozvíjať súbežne s nástupom infračervených kamier, pre ktoré sa zaužívalo označenie termovízna kamera – termovízia. Výstupom z termovíznej kamery je infračervený snímok –

termogram, čiže termovízny snímok. Rádiometrické termokamery umožňujú používateľovi stanoviť teplotu v jednotlivých bodoch termogramu. Stanovenie teploty nie je jednoduché, záleží na niekoľkých charakteristických veličinách. Medzi hlavné veličiny patrí emisivita telesa (čierne teleso má emisivitu 1, lesklé teleso má emisivitu veľmi malú - až 0,1). Nízka emisivita telies predstavuje menšiu presnosť merania. Do meraného žiarivého toku telesa môže eventuálne vstúpiť zdanlivá odrazená teplota, ktorá ovplyvní nameraný výsledok.

(NEW EFFECT, 2020)

1.2.4 Termopilové detektory

Termopilové detektory sú tepelné detektory, ktoré využívajú Seebeckov efekt, pri ktorom sa generuje tepelná elektromotorická sila úmerne k dopadajúcej energii infračerveného svetla. Samotné termopilové detektory nemajú závislosť od vlnových dĺžok, a preto sa používajú s rôznymi typmi okenných materiálov pre rôzne aplikácie ako je meranie teploty, snímanie ľudského tela a analýza plynov.



Obrázok 4: Termopile s diferenčnou teplotou (Inst Tools, 2019)

Obrázok termopilu s rozdielnou teplotou s dvoma súpravami párov termočlánkov zapojených do série. Dva najvyššie termočlánkové spoje majú

teplotu T_1 , zatiaľ čo dva spodné termočlánkové spoje majú teplotu T_2 . Výstupné napätie z termopólu ΔV je priamo úmerné teplotnému rozdielu ΔT alebo $T_1 - T_2$ naprieč vrstvou tepelného odporu a počtom párov termočlánkov. Výstup termopilového napätia je tiež priamo úmerný tepelnému toku q cez vrstvu tepelného odporu.

(Inst Tools, 2019)

1.2.5 Termogram

Termovízny snímok alebo infračervený snímok je obraz vytvorený termokamerou. Infračervené žiarenie je pre ľudské oko neviditeľné, z toho dôvodu sa termovízne snímky vizualizujú za použitia okom viditeľných paliet, ktoré pridelia farbu odlišným teplotám. Zhodný záber je možné vyobraziť v odlišných farebných paletách, a tým zviditeľniť alebo zdôrazniť iné miesta.

V praxi rozlišujeme rádiometrické a nerádiometrické termovízne snímky. Rádiometrické termovízne systémy umožňujú vypočítať teplotu na povrchu telesa. Východiskom pre výpočet je množstvo snímaného infračerveného žiarivého toku. V rádiometrickom termograme je umožnené zrealizovať meranie teplôt a upraviť veličiny termogramu aj po jeho následnom uložení. Týmito veličinami sú: emisivita a zdanlivá odrazená teplota, vzdialenosť od meraného objektu a údaje o okolitej atmosfére. Všetky tieto parametre majú vplyv na výslednú nameranú teplotu. Na nameranú veličinu v bode má nezanedbateľný vplyv aj veľkosť obrazového bodu. Pri snímaní objektu, ktorý sa nachádza vo väčšej vzdialenosti, môže byť meranie ovplyvnené veľkosťou snímanej plochy a plochou detektora. Ak bude veľkosť snímaného obrazového bodu väčšia než meraný objekt, potom bude výsledok merania ovplyvnený okolím meraného objektu. V takejto situácii je možné s termokamerou priblížiť, prípadne použiť inú optiku alebo zväčšiť rozlíšenie detektora. Rozlíšenie detektora u menej kvalitných kamier je asi 80x80 pixelov a u špičkových laboratórnych termokamier až 1024x1024 pixelov. Ďalšou veľmi dôležitou veličinou je teplotná citlivosť, ktorá u dobrých kamier môže dosahovať až 50 mK a rozlíši rozdiel teplôt od 0,05°C. Pokročilé termokamery

ponúkajú prelínanie termogramov a bežnej fotografie do jednej snímky, tak aj podľa určeného rozsahu teplôt teplotného poľa.

(NEW EFFECT, 2020)

1.2.6 Parametre termokamier

- spektrálny rozsah termokamery
- rozlíšenie termokamery
- rozsah teplôt a citlivosť termokamery
- rýchlosť snímania detektora
- formát záznamu termokamery

Tepelný rozsah

- do 250°C – prehliadky rozvádzačov, mechanických strojov, technológie, niektoré teplovody
- do 500°C – teplárne, sušiarne, plášte kotlov, parovody
- do 1000°C – plášte cementárskych a vysokých pecí
- do 2000°C – revízie horákov v prevádzke, sledovanie procesov v peciach

Formát záznamu

- **obrazový** - termovízny obraz sa zaznamená vo formáte obrázku, obraz nie je možné dodatočne upraviť
- **rádiometrický** - zaznamenajú sa všetky teplotné dáta, obraz je možné dodatočne analyzovať, upravovať tepelnú stupnicu a podobne

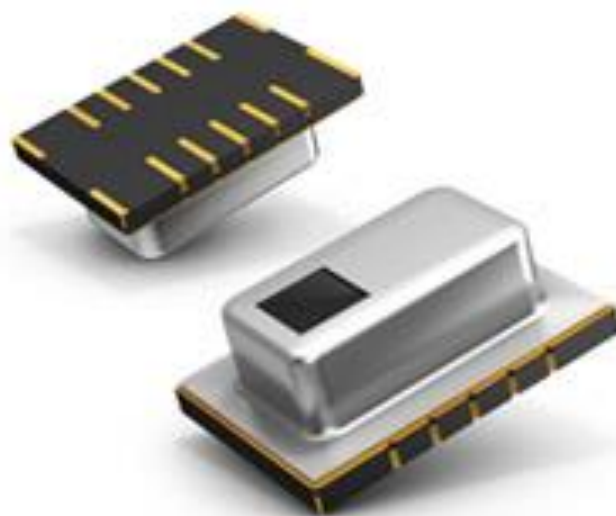
Výhody termovízneho merania

- bezkontaktné a nedeštruktívne meranie
- včasná diagnostika a predchádzanie havarijných stavov
- prevencia neplánovaných odstávok skorým zistením poruchy
- požiarne prevencia

(NEW EFFECT, 2020)

1.3 Popis použitého infračerveného senzora

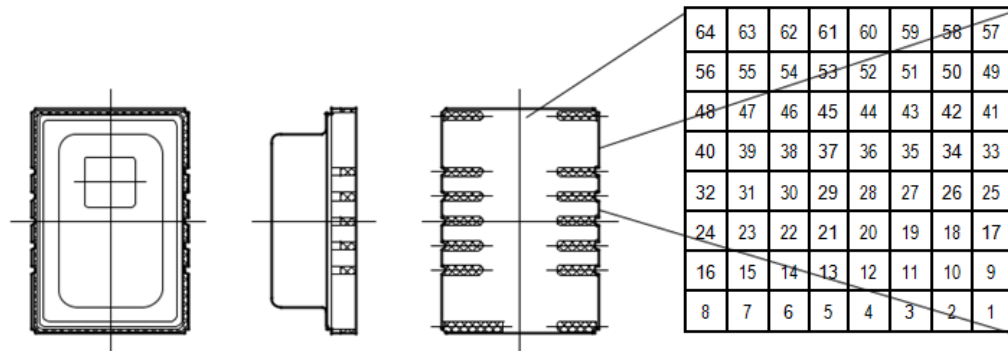
Na rozdiel od konvenčných tepelných sensorov, ktoré merajú iba teplotu určitého bodu, môže Grid-EYE založená na technológii MEMS od spoločnosti Panasonic merať teplotu celého špecifikovaného priestoru bez akéhokoľvek kontaktu, inými slovami ide o bezdotykový senzor tepelných polí na báze matice 8×8 infračervených detektorov (thermophile detectors).



Obrázok 5: Infrared Array Sensor Grid-EYE (AMG88) (Panasonic Industry, Europe, 2020)

Grid-EYE je senzor infračerveného poľa a vôbec prvá 64-pixelová infračervená kamera v kompaktnom balení SMD typu „všetko v jednom“. Na základe technologickej logiky MEMS Panasonic kombinuje Grid-EYE senzorový čip MEMS, digitálne rozhranie I2C a kremíkové šošovky. 64 termopilných prvkov je vo formáte mriežky 8x8, ktoré detegujú skutočnú teplotu a teplotné gradienty bez akéhokoľvek kontaktu. Tieto výstupy teploty môžu následne poskytnúť termálne obrazy. Senzor Grid-EYE využíva patentovanú kremíkovú šošovku s uhlom 60°, s výškou menej ako 0,3 mm, najmenšou dostupnou na trhu. Kombinácia týchto technológií umožňuje zmenšiť veľkosť balenia senzorov na 11,6 mm x 8 mm x 4,3 mm.

(Panasonic Industry, Europe, 2020)

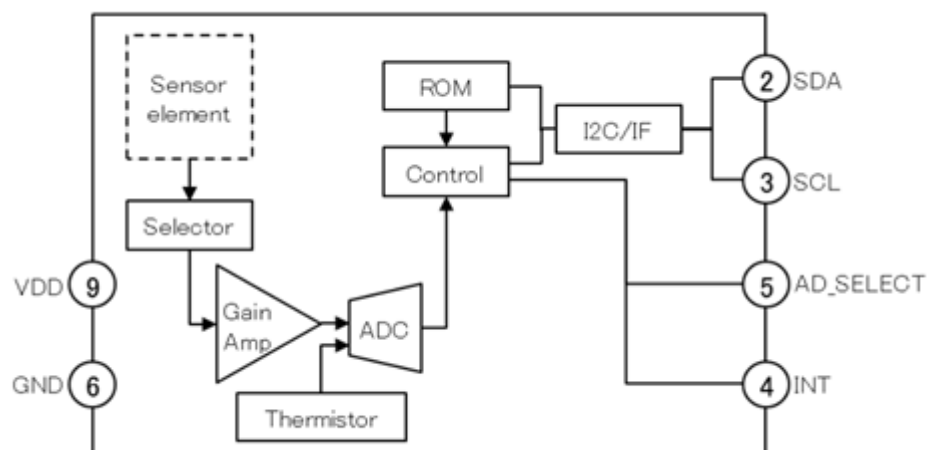


Obrázok 6: Grid-EYE a pixelové pole (Panasonic Industry, Europe, 2020)

Infračervený senzor Grid-EYE má zatiaľ dve generácie s označením prvej generácie ako Grid-EYE 8831, 8832, 8851, 8852 a druhej generácie Grid-EYE 8833, 8834, 8853, 8854. V diplomovej práci sme použili Grid-EYE 8833 druhej generácie a je namontovaný na vývojovej doske MAXREFDES131#.

(Farnell, 2019), (Panasonic Industry, 2019), (Panasonic Industry, 2019)

Grid-EYE druhej generácie teraz profitujú z vylepšením NETD (šumová ekvivalentná teplota) - rozdiel 0,16 °C pri 10 Hz a 0,05 °C pri 1 Hz. Pre všetky modely Grid-EYE druhej generácie sa vzdialenosť detekcie zlepšila z 5 na 7 metrov. Je dôležité poznamenať, že druhá generácia senzorov Grid-EYE je plne kompatibilná s existujúcimi návrhmi prvej generácie. To znamená, že inžinieri môžu získať lepšie a presnejšie výsledky.



Obrázok 7: Bloková schéma senzora (Panasonic Industry, Europe, 2020)

Merania senzora Grid-EYE môžu byť na výstupe dvoma konfigurovateľnými rýchlosťami: jedna snímka za sekundu alebo desať snímok za sekundu prostredníctvom digitálneho rozhrania I²C. Ďalšou zaujímavou vlastnosťou senzora je výstup signálu prerušenia, ktorý poskytuje rýchlu reakciu na časovo kritické udalosti, čo zasa ponúka vysoký stupeň flexibility pre aplikácie. V porovnaní s jednoprvkovými termopilovými senzormi a pyroelektrickými detektormi ponúka Grid-EYE rozšírené možnosti detekcie osôb a objektov, aj keď sú v stacionárnom stave, čím umožňuje rôzne pokročilé riešenia.

(Panasonic Industry, Europe, 2020)

1.3.1 Vybrané vlastnosti použitého infračerveného senzora Grid-EYE (AMG88)

Špecifikácia snímača:

- rozmery (D x V x V): 11,6 x 4,3 x 8,0 mm
- prevádzkové napätie: 3,3 V alebo 5,0 V
- spotreba senzora 4,5 mA pri normálnom režime, 0,8 mA pri pohotovostnom režime a 0,2 mA v režime spánku
- teplotný rozsah meraných objektov s vysokým zosilnením zosilňovacieho faktora: 0 °C až 80 °C

- teplotný rozsah meraných objektov s nízkym zosilnením zosilňovacieho faktora: -20 °C až 100 °C .

Technické parametre:

- zorné pole: 60 ° (vertikálne a horizontálne)
- počet pixelov: 64 (vertikálny 8 x horizontálny 8)
- externé rozhranie: I²C (rýchly režim)
- snímková frekvencia: 1 alebo 10 snímok / s
- absolútna presnosť teploty: $\pm 2,5\text{ °C}$ - $\pm 3,0\text{ °C}$
- NETD: 0,05 K / 1 Hz, 0,16 K / 10 Hz

(Panasonic Industry, Europe, 2020)

1.4 Popis alternatívnych infračervených snímačov

V tejto časti diplomovej práce si ukážeme tri typy alternatívnych infračervených snímačov a kamier, ktoré by mohli byť použité namiesto Grid-EYE v našom prezenčnom systéme proti zabudnutiu dieťaťa vo vozidle. Niektoré z týchto infračervených snímačov a kamier sú dokonca lepšie a viac uplatniteľné ako v Grid-EYE, ale Grid-EYE sme dostali na otestovanie, či by dokázal spoľahlivo zamerať zabudnuté dieťa vo vozidle, a preto je základným senzorom prezenčného systému proti zabudnutiu dieťaťa vo vozidle.

1.4.1 Infračervený snímač teploty (32×24 RES) MLX90640

Tento snímač rieši rastúce požiadavky, ktoré sa vyskytujú v mnohých aplikáciách na tepelnú analýzu. Infračervený senzor ponúka cenovo výhodnú alternatívu k drahším termálnym kamerám vyššej kategórie.

Toto zariadenie s rozmermi 32x24 pixelov je vhodné pre bezpečnostné a komfortné aplikácie, ktoré zahŕňajú protipožiarne systémy, inteligentné budovy, inteligentné osvetlenie, IP sledovacie kamery, zariadenia HVAC a detekciu obsadenia sedadiel vo vozidle.

Má rozsah prevádzkových teplôt od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ a môže merať teploty objektov medzi $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento infračervený senzor udržiava vysokú úroveň presnosti v celom svojom meracom rozsahu a poskytuje presnosť merania teploty cieľového objektu $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vyznačuje sa tiež vynikajúcim nízkym šumovým signálovým výkonom. Na rozdiel od mikrobolometrických alternatív senzor nevyžaduje častú recalibráciu, čím zaisťuje nepretržité monitorovanie a zníženie nákladov na systém. Melexis MLX90640 sa dodáva v kompaktnom 4-kolíkovom balení TO39 s potrebnou optikou. Digitálne rozhranie je kompatibilné s I²C zjednodušuje integráciu.

(Melexis, 2019)



Obrázok 8: MLX90640 (Melexis, 2019)

Parametre snímača

- od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ je rozsah prevádzkových teplôt, umožňuje nasadenie v náročných priemyselných prostrediach
- môže merať teplotu objektu v rozhraní teplôt od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- typická presnosť teploty meraného objektu je $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- NETD je iba $0,1\text{ K RMS}$ pri obnovovacej frekvencii 1 Hz
- pre špecifické požiadavky na teplotu nie je potrebná žiadna rekalibrácia
- dve rôzne možnosti zorného poľa: štandardný uhol $55^{\circ} \times 35^{\circ}$ a $110^{\circ} \times 75^{\circ}$.
- 4-košíkové TO39 balenie s potrebnou optikou
- digitálne rozhranie kompatibilné s PC

(Melexis, 2019)

1.4.2 FLIR IR kamera iPhone a iPad

FLIR ONE je infračervená kamera, ktorú si môže človek kúpiť a pripojiť k zariadeniam iPhone a iPad. Spoločnosť Flir vyrobila dve generácie infračervenej kamery FLIR ONE. V tejto práci sa oboznámime s druhou generáciou FLIR ONE, ktorá je oproti prvej generácii oveľa menšia. K zariadeniu je dodávaná aplikácia, vďaka ktorej môžeme naplno využívať všetky funkcie FLIR ONE 2.

FLIR ONE 2 pracuje na základe detekcie tepelnej energie, takže máme možnosť vidieť minútové teplotné odchýlky. Tým sa dajú ľahko zistiť úniky energie v dome a tiež uvidíme, čo sa deje mimo domu napríklad v noci. FLIR ONE 2 ponúka bezkontaktné meranie bodovej teploty patentovanou technológiou MSX a vynikajúcou kvalitou obrazu. FLIR ONE využíva prelínanie viditeľného infračerveného obrazu, ukladanie fotografií, nahrávanie videa, zdieľanie snímok a ďalšie. Softvér FLIR ONE 2 App umožňuje vytvoriť termálne panoramatické snímky a tepelné časozberné snímanie. FLIR ONE 2 z hľadiska technickej a stavebnej diagnostiky nenahrádza termokameru. Teplotu meria len v centrálnom bode snímanej scény, a nie vo všetkých jej bodoch. Je vhodná predovšetkým pre porovnávanie teploty jednotlivých častí snímaného

povrchu. Snímky zhotovené touto kamerou nie sú rádiometrické a v počítači s nimi nemožno ďalej pracovať. Táto kamera je vďaka tomu predurčená pre použitie v domácnosti ako pomôcka pre stavebníkov, pre domácich majstrov alebo turistov.

(m:zone.s.r.o.)



Obrázok 9: iPhone a kamera FLIR (m:zone.s.r.o.)

Hlavné vlastnosti

- exkluzívna technológia MSX spája tepelné a viditeľné spektrum pre detailnejšie a lepšie rozlíšenie
- nastaviteľný konektor OneFit umožňuje použitie s kompatibilnými ochrannými puzdrami
- ako nočné videnie pre orientáciu v tme, rozpoznanie nepozvaných hostí, orientáciu za hmly a dymu
- pre detekciu únikov tepla, presakovaniu vody a iných problémov, ktoré spôsobujú úniky energie
- meranie teploty neviditeľných zdrojov tepla

- pozorovanie zvierat vo dne aj v noci, kontrola teploty dohorievajúceho ohniska v táborisku, hľadanie stratených zvierat
- kombinácia viditeľného a teplotného spektra pre detailnejšie zábery

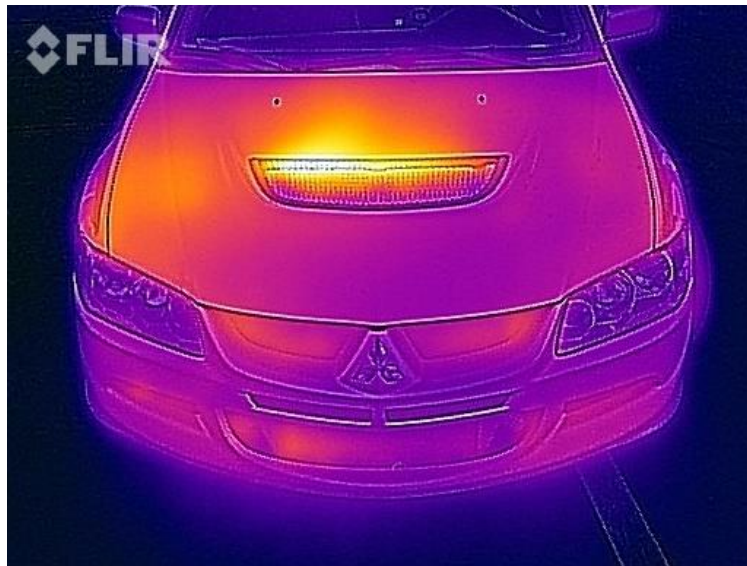


Obrázok 10: FLIR ONE 2 (m:zone.s.r.o.)

Technické parametre

- patentovaná technológia MSX s vysokou kvalitou obrazu
- FLIR ONE dokáže merať teploty na ľubovoľnom mieste v teplote medzi -20 °C až 120 °C
- podpora obrazu FLIR ONE Panoráma, FLIR ONE Timelapse a funkcie FLIR ONE CloseUp
- aplikácia FLIR ONE umožňuje zdieľať obrázky a videá na sociálnych médiách
- rozlíšenie termo obrazu 80x60
- rozlíšenie normálneho obrazu 1440x1080
- odolnosť pred pádmi do 1,5 m
- výdrž batérie 1 hodina

(m:zone.s.r.o.)



Obrázok 11: Termografický snímok auta s FLIR ONE 2 (m:zone.s.r.o.)

Čo je MSX ?

Termokamery s funkciou MSX majú v skutočnosti dve kamery - termokameru a kameru s viditeľným svetlom (typický digitálny fotoaparát). Zakaždým, keď nasnímame obrázok, súčasne sa nasníma tepelný aj viditeľný obrázok. Vstavaný softvér extrahuje kľúčové prvky viditeľného obrázka ako sú obrysy, slová, čísla a ďalšie podrobnosti o hranách s vysokým kontrastom a pridá ich k termálnemu obrazu. Pomáha to definovať obraz a uľahčuje nám povedať, na čo sa práve pozeráte.

(2019 © FLIR ® Systems, Inc. , 2019)



Obrázok 12: Tepelný a viditeľný obraz nasnímaný súčasne (2019 © FLIR ® Systems, Inc. , 2019)

1.4.3 Mobil CATEPILAR S60

Caterpillar (skrátene CAT) je americká spoločnosť, ktorá už dlhú dobu pracuje v odvetví výroby ťažkého strojárstva. Pri strojárstve to však neostalo, a CAT sa rozhodol vyrábať aj kvalitné pracovné pomôcky v podobe smartfónov do náročného prostredia, kde by to „vzdal“ ne jeden smartfón. Ich mobilný telefón, ktorý vznikol v spolupráci s FLIR - CAT S60, ktorý v sebe okrem iného integruje aj termokameru. Väčší fotografický zážitok, než hlavná kamera, ponúka integrovaná termokamera od spoločnosti FLIR. Rozlíšenie dosahuje iba 80 x 50 pixelov, čo oproti tisíckam pixelov hlavného fotoaparátu je dosť malé rozlíšenie. CAT S60 oproti bežným termokamerám dokáže tento obraz zlúčiť a dostanete tak snímku, ktorá okrem tepelných stôp obsahuje tiež obrysy objektov vďaka hlavnému fotoaparátu. Snímky sú tak oveľa ľahšie pochopiteľné aj pre ľudí, ktorí sa stretávajú s touto technológiou prvýkrát za život.

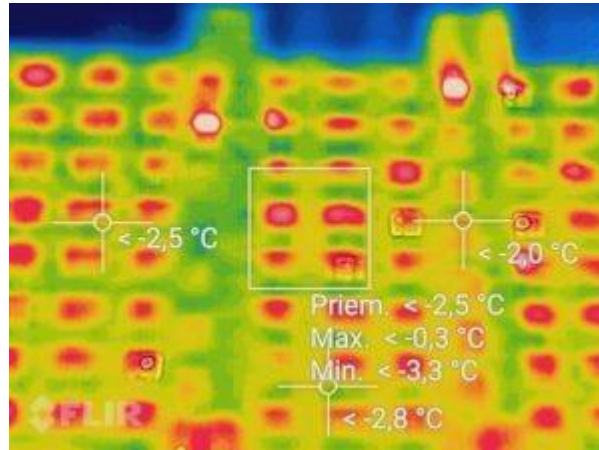


Obrázok 13: CAT S60 (VASEK, 2016)

Termokamera je ovládaná softvérom MyFLIR. K dispozícii je až 9 farebných stupníc. Nastavenia ponúkajú štyri režimy teplotnej odrazivosti, ktorá závisí od materiálu, ktorý fotíte. Tepelná škála sa automaticky prispôbuje aktuálnym teplotám. Aplikácia MyFLIR podporuje tiež nahrávanie časozberného videa,

nahrávanie obyčajného videa, fotografovanie panorámy a fotografovanie bežných fotografií. Tiež podporuje umiestnenie teplotných bodov a oblastí, kde je následne zobrazená nameraná teplota.

(VASEK, 2016)



Obrázok 14: Tergrafický snímok bytovky s CAT S60 (VASEK, 2016)



Obrázok 15: Tergrafický snímok notebooku s CAT S60 (VASEK, 2016)

1.5 Vybrané vlastnosti použitého infračerveného senzora a termokamier

1.5.1 Noise Equivalent Temperature Difference

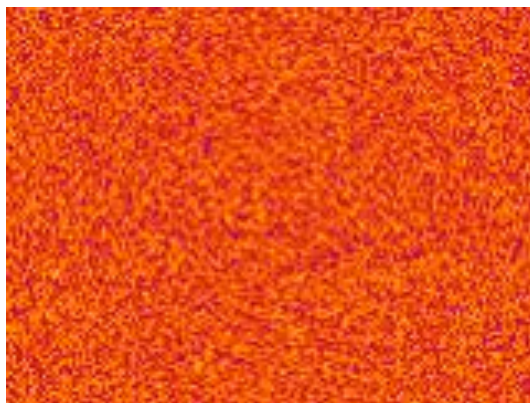
Keď sa pozrieme na technické podrobnosti tepelnej kamery, môžeme naraziť na výraz alebo špecifikáciu „NETD“. Výraz znamená teplotný rozdiel ekvivalentný „šumu“. Je to miera, do akej je tepelný zobrazovací detektor schopný rozlíšiť medzi veľmi malými rozdielmi v tepelnom žiarení v obraze. NETD sa zvyčajne vyjadruje v mili-kelvinoch (mK). Niekedy sa označuje aj ako „teplotný kontrast“. Ak je hluk ekvivalentný najmenšiemu merateľnému teplotnému rozdielu, detektor dosiahne hranicu svojej schopnosti rozlíšiť užitočný tepelný signál. Čím viac šumu je, tým vyššia je hodnota NETD detektora.

Typické hodnoty pre nechladené termovízne kamery s mikrotubickým detektorom sú rádovo 45 mK. Vedecké kamery s fotónovými a kryogénne chladenými detektormi môžu dosiahnuť hodnoty NETD približne 18 mK. Hodnota merania šumu by sa mala špecifikovať pri konkrétnej teplote objektu, pretože to ovplyvňuje meranie.

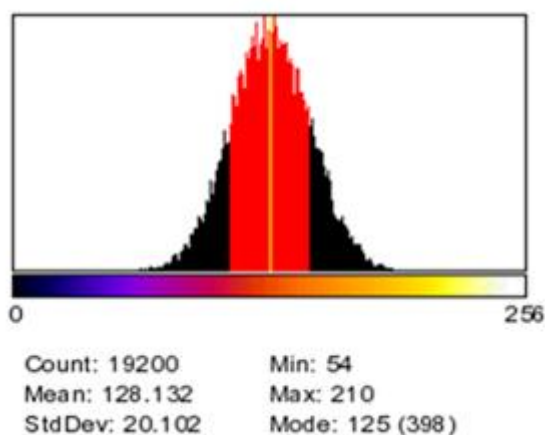
(MoviTherm, 2018)

Ako sa meria NETD?

Aby bolo možné zmerať teplotný rozdiel detektora ekvivalentný šumu, musí byť kamera namierená na čierne telo s regulovanou teplotou. Pred začatím merania sa musí čierne telo stabilizovať. Rozdiel teplôt ekvivalentný šumu sa potom meria pri špecifickej teplote. Nejde o jednorazové meranie, ale skôr o časové meranie šumu.



Obrázok 16: Zobrazenie šumového tepelného obrazu (MoviTherm, 2018)



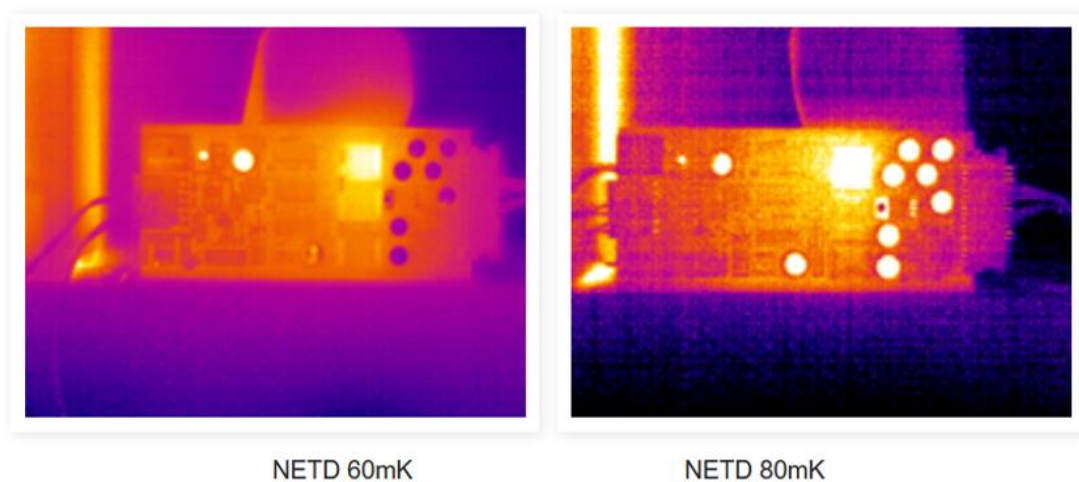
Obrázok 17: Histogram všetkých hodnôt pixelov (MoviTherm, 2018)

Obrázok vyššie zobrazuje šumový tepelný obraz, ktorý fotoaparát vytvára pri pohľade na veľmi rovnomerné čierne telo počas merania. Obrázok dole zobrazuje histogram všetkých hodnôt pixelov získaných z niekoľkých obrázkov v priebehu času. Je to časové rozdelenie šumu pri tejto teplote. Hodnota NETD je štandardná odchýlka tohto histogramu prevedeného na mK (MoviTherm, 2018).

Ako NETD ovplyvňuje meranie

Obrázky nižšie ukazujú rovnakú scénu zaznamenanú dvoma rôznymi fotoaparátmi. Jedna kamera má NETD 60 mK a druhá má hodnotu 80 mK. Oblasť na snímke s veľmi nízkou teplotou vykazujú výrazne väčší šum na snímke nasnímanej fotoaparátom s výkonom 80 mK. Rozdiel 20 mK sa

nezdá byť príliš veľký, ale má potenciálne obrovský vplyv na kvalitu obrazu a presnosť merania (MoviTherm, 2018).



Obrázok 18: Rovnaký objekt snímaný dvoma termokamerami s odlišným NETD (MoviTherm, 2018)

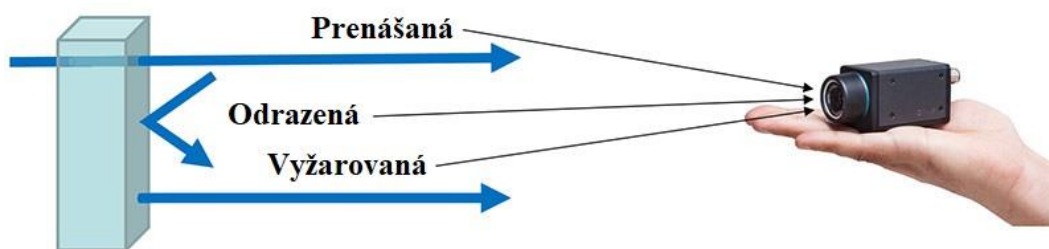
Čo ovplyvňuje NETD?

NETD môže ovplyvniť niekoľko faktorov. Termálne kamery niekedy obsahujú viac ako jeden kalibrovaný rozsah merania teploty. Odčítanie šumu sa môže líšiť v závislosti od zvoleného rozsahu a tiež od teploty objektu. Pokiaľ je na obrázku výrazný tepelný kontrast a teplota, ktorá je predmetom záujmu, je omnoho vyššia ako teplota pozadia, nebude to mať veľký vplyv na presnosť merania. Hladinu šumu môže ovplyvniť aj teplota detektora alebo kamery. Ak je kamera vystavená vysokej okolitej teplote, môže sa zvýšiť šum systému. Závisí to od toho, do akej miery je fotoaparát vnútorne stabilizovaný.

(MoviTherm, 2018)

1.5.2 Emisivita

Ak chceme merať absolútne teploty pomocou termokamery, musíme mať praktické vedomosti o „emisivite“. Merania teploty zaznamenané termálnou kamerou sa môžu zdať objektívne ľahko zrozumiteľné, ale v skutočnosti sa merania teploty skladajú z troch zložiek: prenášaná energia, odrazená energia a vyžarovaná energia.



Obrázok 19: Energie pri meraní termografickou kamerou 1. (MoviTherm, 2018)

Prenášaná energia je energetická zložka, ktorá prechádza cez objekt. Bežným príkladom prenosu energie je prúdenie denného svetla cez sklenené okno.

Odrazená energia je energia odrážajúca cieľ a späť do kamery. Rovnako ako leštené zrkadlo môže odrážať vašu podobu, môže sa odrážať aj tepelná energia. Stupeň odrazu závisí od materiálov a povrchov.

Vypustená (alebo vyžarovaná) energia je energia, ktorá je prirodzená pre cieľ. Tento druh energie je generovaný objektom, alebo je výsledkom teplotného rozdielu medzi objektom a okolitým prostredím. Tepelná energia prúdi z objektov s vyššou teplotou do objektov s nižšou teplotou buď vedením, prúdením alebo žiarením. Užitočné príklady možno nájsť vo svetle zo žiarovky, alebo v tepelnej energii z elektrického ohrievača. Tieto zdroje energie vydávajú alebo „vyžarujú“ teplo do okolitého prostredia, čím vyrovňávajú teplotnú nerovnováhu.

Vo väčšine prípadov sa pri meraní teploty objektu zaujímate predovšetkým o vyžarovanú energiu. Prenášaná a odrážaná energia pridáva do systému predpojatosť alebo chybu merania a znižuje presnosť merania. Preto je užitočné mať praktický spôsob, ako vyjadriť vzťah medzi emisivitou, prenosom a odrazom (MoviTherm, 2018).

Tabuľky emisivity

Predchádzajúca časť zdôrazňuje dôležitý bod o emisivite každého konkrétneho objektu, závisí od jeho zloženia a od jeho povrchových charakteristík. Našťastie boli zostavené štandardizované tabuľky emisivity so zoznamom mnohých bežných objektov a povrchov. Ak potrebujeme určiť emisivitu

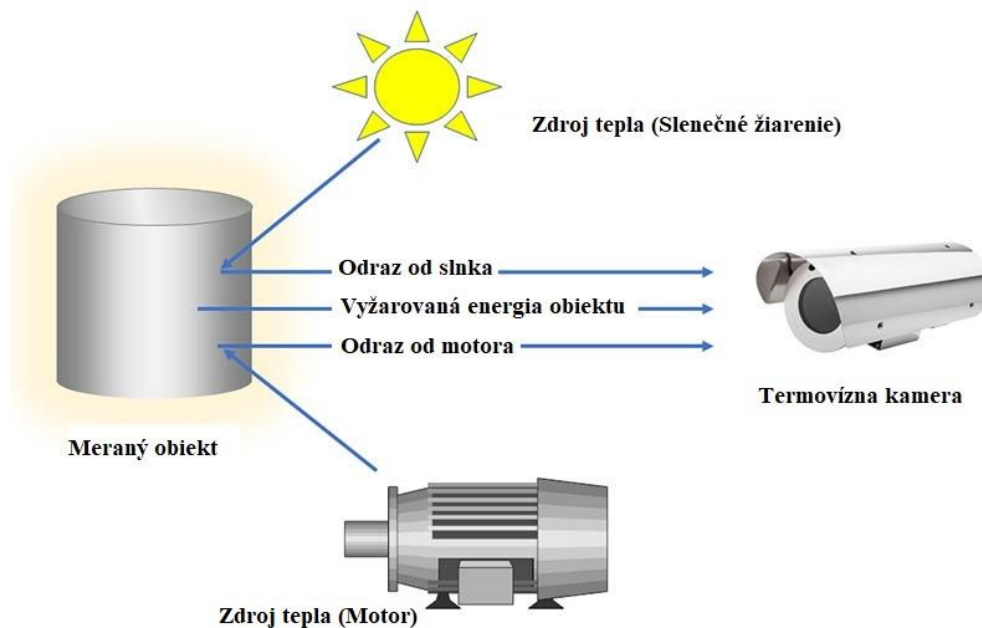
konkrétneho cieľového objektu, tabuľky užitočnosti môžu poskytnúť užitočnú referenciu (MoviTherm, 2018).

Tabuľka 1: Koeficienty emisivity pre rôzne materiály (MoviTherm, 2018)

Materiál	Koeficient emisivity
ľudská koža	0,98
voda	0,95
hliník (leštený)	0,1
hliník (eloxovaný)	0,65
plastický	0,93
keramický	0,94
sklo	0,87
guma	0,9
plátno	0,95

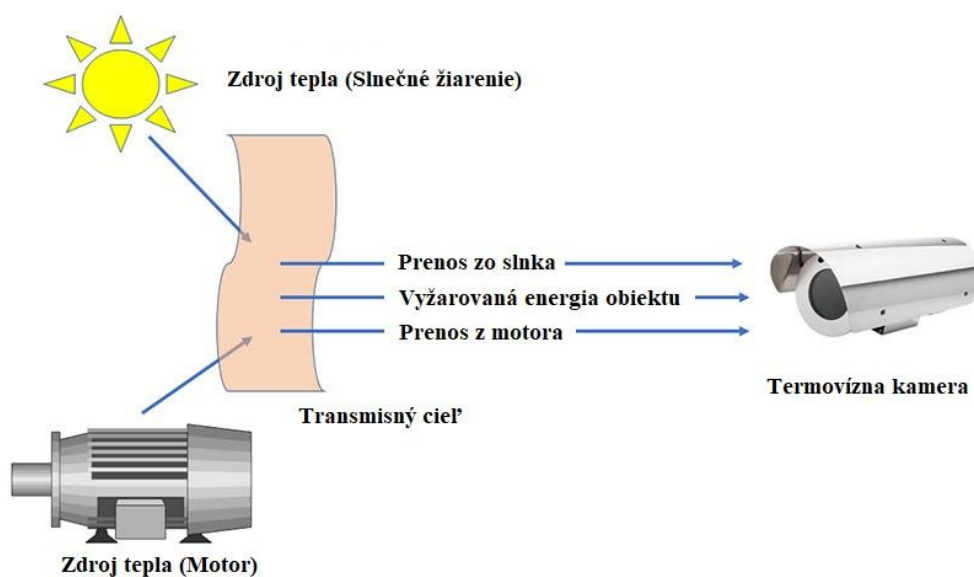
1.5.3 Vplyv horúcich objektov na merania

Ako už bolo uvedené, vplyv odrazivosti sa znásobí, ak sa v blízkosti vášho cieľa merania vyskytujú horúce predmety. Rovnako ako to, že odraz jasného svetla v zrkadle môže sťažiť videnie, horúci objekt odrážajúci sa od povrchu lesklého objektu môže premôcť oveľa menší výstup emisivity. Jasné slnečné svetlo odrážajúce hladký povrch bude mať takmer vždy vplyv na vaše namerané hodnoty. Ako už bolo uvedené, celková teplota zahŕňa odrazenú energiu, takže odrazy horúcich predmetov pridajú šum a zhoršujú výsledky. Pri určovaní polohy kamery vzhľadom na cieľ je vždy dôležité pamätať na to.



Obrázok 20: Energie pri meraní termografickou kamerou 2 (MoviTherm, 2018)

V závislosti od fyzikálnych charakteristík cieľa, môžu horúce objekty tiež spôsobiť neočakávané problémy s prenosom. Ak termálna kamera vidí cez cieľový materiál horúci objekt za cieľom, môže tiež neočakávaným spôsobom skresliť merania. Musíme si byť toho vedomí, najmä ak chceme zmerať povrch niektorých plastov. Uistíme sa, že neprenášame značné množstvo energie cez svoj cieľ, alebo môžeme zistiť, že snímame teploty za našim cieľom a nie teploty nášho cieľa.



Obrázok 21: Energie pri meraní termografickou kamerou 3. (MoviTherm, 2018)

Existujú aj ďalšie faktory ako sú prenosové vlastnosti šošovky, atmosférické účinky založené na vzdialenosti medzi fotoaparátom a objektom. Emisivita je len jedným z mnohých hľadísk pri hodnotení presnosti teploty a vhodnosti tepelného zobrazovania pre naše aplikácie.

(MoviTherm, 2018)

1.6 Popis vybraných asistenčných systémov vozidiel

Asistenčné systémy vozidiel prechádzajú pomerne búrlivým vývojom a čoraz viac sa vývoj dostáva aj do nižších kategórií vozidiel. Stojí za tým samozrejme vývoj technológií, zvyšovanie výkonu počítačov, miniaturizácia najrôznejších druhov senzorov a viacero ďalších aspektov. Spoločný menovateľ týchto snáh je zvyšovanie bezpečnosti na cestách. I keď sa pri niektorých systémoch môže zdať, že v prvom rade zvyšujú pohodlie, pričom výrobcovia niektoré z týchto systémov aj zaraďujú v cenníkoch do rubriky pohodlie, všetky majú nakoniec dosah aj na bezpečnosť.

Medzi asistenčné systémy radíme v podstate všetko, čo pomáha vodičovi pri riadení vozidla a uľahčuje mu zvládnuť rôzne neštandardné a kritické situácie. Dnes už nikoho neprekvapí, že aj v lacnejších modeloch vozidiel nájdete ABS, stabilizačný systém, či posilňovač riadenia.

(Hubinský, 2018)

1.6.1 Asistent monitorovania detí na zadných sedadlách od spoločnosti Hyundai

Hyundai Santa Fe prišiel s novým asistentom, ktorý má dvojstupňovú ochranu. Každý stupeň zabezpečuje samostatný systém. Prvý funguje na základe monitorovania pohybu zadných dverí. Sotva pred naštartovaním otvoríme zadné dvere, elektronicky mozog predpokladá, že dozadu zrejme niekto nastúpil, a preto nás po ukončení jazdy, vypnutí motora a otvorení šoférových dverí vyzve výstražným signálom a grafickým upozornením na prístrojovom paneli, aby sme skontrolovali priestor zadných sedadiel. Pretože, ak niekto dozadu nastúpil, logicky musí aj vystúpiť. Samozrejme upozornenie sa

aktivuje aj vtedy, keď si cez zadné dvere dozadu odložíte len doklady, notebook, alebo iné osobné veci. Keďže tento systém nemá kameru, a teda nevidí, či dozadu niekto nastúpil alebo nie, ani žiadne napojenie na bezpečnostný pás, úchyty Isofix, či tlakové snímače, ktoré by registrovali záťaž na zadných sedadlách. On sleduje čisto otváranie a zatváranie dverí. Po vypnutí zapalovania a otvorení dverí vodiča, teda vo chvíli, kedy auto opúšťame, zaznie upozorňujúci signál so špecifickým tónom, ktorý človeka upozorní na kontrolu zadných sedačiek.



Obrázok 22: Prístrojový panel Hyundai (Karpát, 2018)

Druhý systém monitoruje pohyb na zadných sedadlách. Využíva na to tri ultrazvukové snímače uchytené v strope nad zadnými sedadlami, ktoré sú vyladené na zachytenie aj najjemnejšieho pohybu. Ale ak snímajú spiace dieťa, ktoré sa nepohne, vtedy zamknuté auto zostane ticho. Keďže systém nie je založený na tlakovom snímači a nemá ani kameru rozpoznávajúcu tvár, alarm sa neaktivuje. No stačí, ak mierne dieťa pootočí hlavou a alarm sa hneď spustí. V jednom cykle alarm húka celých 25 sekúnd, pokiaľ ho neprerušíte odomknutím auta a otvorením zadných dverí. Pokiaľ sa auto neodomkne a snímače opäť zachytia pohyb, alarm sa znova aktivuje na ďalších 25 sekúnd. Celkovo je systém nastavený až na 8 takýchto sekvencií.



Obrázok 23: Tri ultrazvukové snímače (Karpát, 2018)

Citlivosť snímačov aj na najjemnejší pohyb je teda preukázateľný, a za to treba Hyundai pochváliť. Takže, hoci tento systém nie je univerzálny patent na zabudnutie dieťaťa v aute, pretože nevie zachytiť spiace dieťa, určite je to dôležitý krok, ktorý zabúdaniu detí alebo štvornohých priateľov človeka v aute pomáha predchádzať. Stačí, ak sa spiace dieťa začne mrviť a snímače pohybu to zachytia. Napríklad druhá generácia tohto systému by mohla byť aj s tlakovými senzormi a kamerou rozoznávajúcou tvár dieťaťa. Keď vieme zainvestovať do kamier rozoznávajúcich únavu vodiča, investícia do bezpečnosti detí je rovnako dôležitá.

(Karpát, 2018)

1.6.2 Pripomienka zadných sedadiel GMC

Vývojári vozidiel GMC vytvorili systém s názvom Rear Seat Reminder, čo v preklade znamená pripomienka zadných sedadiel. Za určitých podmienok môže nová funkcia na pripomenutie zadných sedadiel, ktorá je štandardnou súčasťou väčšiny modelov GMC 2018 Acadia, Yukon, Canyon a Sierra, pomôcť rodičom pripomenúť, aby skontrolovali zadné sedadlo pred opustením vozidla.

Pripomienka zadného sedadla v skutočnosti nezistí žiadne predmety na zadnom sedadle. Funguje to sledovaním zadných dverí vozidla. Ak sa zadné

dvere otvoria a zatvoria do desiatich minút pred naštartovaním vozidla, alebo ak sa otvárajú a zatvárajú, keď je vozidlo v chode, funkcia sa aktivuje.

Po vypnutí vozidla je vozidlo konštruované tak, aby vydalo päť zvukových signálov a zobrazilo vizuálnu správu na palubnom počítači, čo môže pomôcť vodiča upozorniť, aby sa pred odchodom pozrel na zadné sedadlo.

Táto funkcia je aktívna iba raz pri každom zapnutí a vypnutí vozidla a vyžaduje si opätovnú aktiváciu pri druhej jazde. Okrem toho sa za určitých okolností môže systém aktivovať, aj keď na zadnom sedadle nie je nič. Napríklad, ak dieťa opustilo vozidlo bez toho, aby bolo vozidlo vypnuté, pripomenka zadného sedadla bude stále aktivovaná. Je veľmi dôležité, aby vodič vždy pred opustením vozidla skontroloval zadné sedadlo.

(GMC, 2018)



Obrázok 24: Rear Seat Reminder (GMC, 2018)

1.6.3 Rear Door Alert do firmy Nissan

Do roku 2020 bude mať Nissan na všetkých svojich automobiloch technológiu výstrahy zadných dverí. Nissan rozširuje dostupnosť technológie, ktorá má pomôcť rodičom a opatrovníkom vyhnúť sa zabudnutiu dieťaťa v horúcom aute. Táto funkcia sa nazýva Rear Door Alert, čo v preklade znamená

upozornenie zadných dverí a stáva sa štandardnou súčasťou modelov Altima, Sentra a Rogue pre modelový rok 2019.

Výstraha zadných dverí je jednoduchý nápad zameraný na zvýšenie bezpečnosti detí. Softvér vo vozidle sleduje, či sa na začiatku cesty otvorili niektoré zo zadných dverí vozidla, a ak áno, na konci jazdy zaznie zvuková signalizácia, aby nás vyzval pozrieť sa na zadné sedadlo. Túto funkciu môžeme povoliť alebo zakázať pomocou ponuky na palubnom počítači vozidla.

Nissan predstavil upozornenie zadných dverí na modeli 2018 Pathfinder. Vráťane vyššie uvedených modelov Rogue, Sentra a Altima Nissan hovorí, že celkovo osem ďalších vozidiel pridáva RDA ako štandard v roku 2018. Do roku 2020 Nissan tvrdí, že ponúkne RDA na všetkých svojich vozidlách.

Túto technológiu vynašli inžinieri Nissanu Elsa Foley a Marlene Mendoza po tom, ako Mendoza náhodou v aute nechala cez noc lazane. Najhoršie bolo, keď auto celé dni voňalo a prinútilo ma položiť si otázku: „Čo keby som tam nechala niečo oveľa dôležitejšie?“, povedala. Obe inžinierky majú patent na výstrahu zadných dverí.

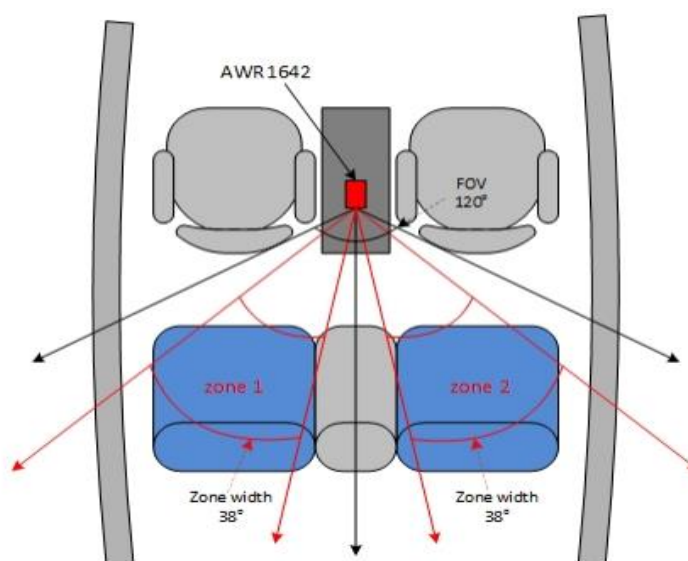
(Holmes, 2018)



Obrázok 25: Rear Door Alert (Holmes, 2018)

1.6.4 Detekcia obsadenia vozidla senzormi mmWave

Technológia snímania v milimetrových vlnách (mmWave) môže detegovať prítomnosť osoby aj v náročných okolitých podmienkach, ako je jasné svetlo a tma. Na rozdiel od iných snímacích technológií môže mmWave prechádzať materiálmi ako sú plast, sadrokartón a oblečenie, čo umožňuje skrytie senzorov za fasádou a ich umiestnenie vo vnútri, alebo pod iné materiály vo vozidle, čo ich robí bezkontaktnými a nenápadnými. Napríklad ultrazvukový senzor nedokáže rozlíšiť osobu a statický objekt a fotoaparáty nedokážu detegovať dieťa pri jasnom svetle alebo tme.



Obrázok 26: Príklad použitia AWR1642 jedno čipového mmWave senzora v aute (Texas Instruments Incorporated, 2018)

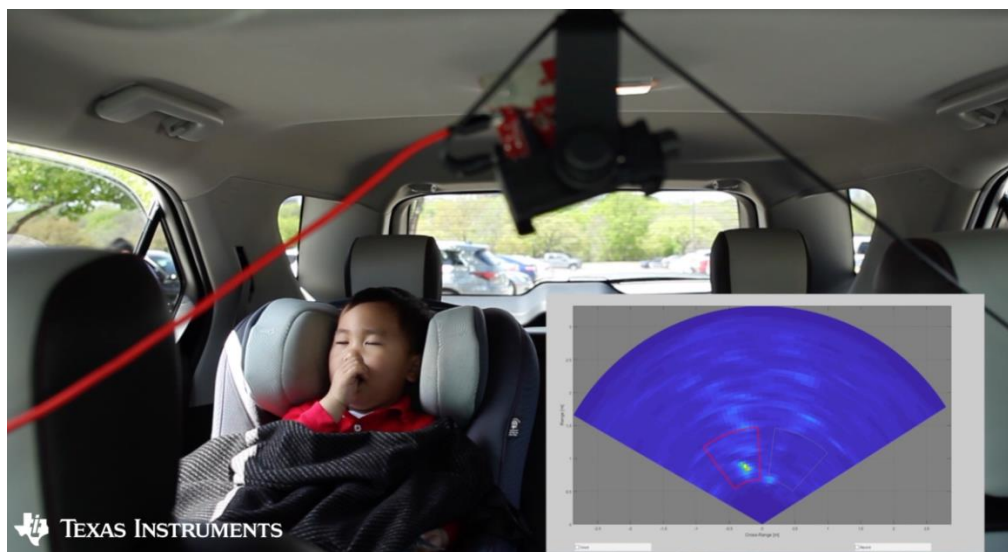
Detekcia prítomnosti dieťaťa si našla svoje miesto aj v cestovnej mape EURO NCAP. Výrobcovia motorových vozidiel ponúkajú túto funkciu, aby zvýšili svoje hodnotenie hviezdami. V prípadoch, ktoré si vyžadujú vyššie rozlíšenie, ako je napríklad detekcia polohy cestujúceho alebo vodiča, by sa mohol použiť vysokovýkonný zobrazovací radar pomocou kaskádových snímačov mmWave. So snímačmi mmWave môžeme riešenia snímať interiér vozidla, všetkých pasažierov v aute, zisťovať ich vitálne znaky a rozlišovať medzi cestujúcimi.



Obrázok 27: Inštalácia snímača vln na strešné okno vozidla (Texas Instruments Incorporated, 2018)

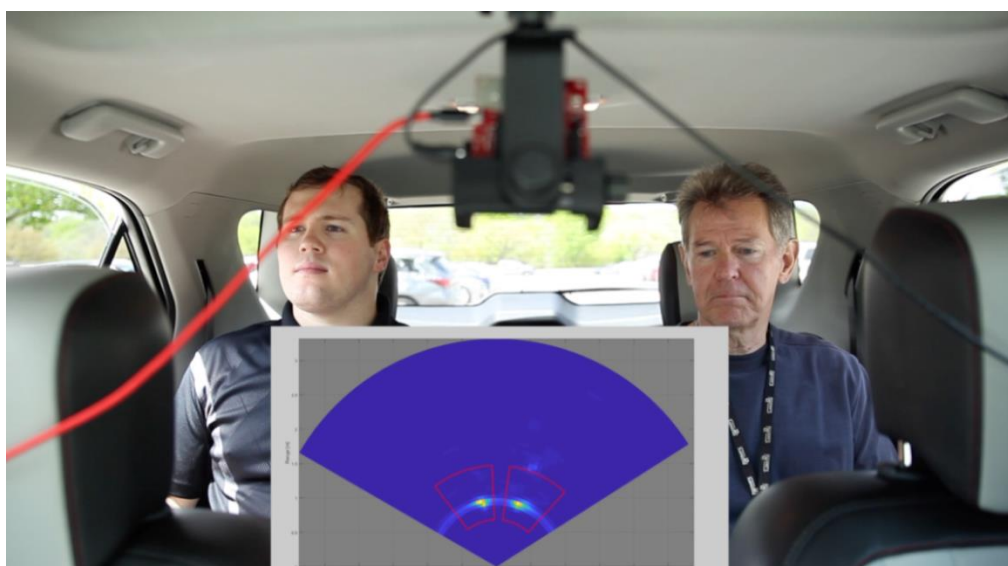
Detekcia cestujúcich vo vozidle

AWR1642 77 GHz jedno čipový mmWave senzor s pamäťou na čipe a digitálneho signálového procesoru je dobrou voľbou pre tieto aplikácie, pretože jeho schopnosť vnímať veľmi malé pohyby, aj dýchanie, ktoré by naznačovalo prítomnosť človeka. Použitý vyhodnocovací modul AWR1642 preukázal obsadenosť v statickom vozidle. Senzor je zavesený zo strešného okna na demonštračné účely, pri pohľade smerom k zadnému sedadlu, ako je to znázornené na obrázku 27, hoci by bol pravdepodobne umiestnený v operadle sedadla, okolo spätného zrkadla alebo dokonca v streche. Celý senzorový reťazec detekcie vrátane algoritmov na odstránenie všetkého možného statického neporiadku je implementovaný na senzore. Na obrázku 28 dieťa spí v detskej sedačke zakryté prikrývkou. Senzor nielen deteguje dieťa napriek prikrývke, ale tiež presne lokalizuje svoju polohu - ako aj to, že je na pravej zadnej sedačke.



Obrázok 28: Detekcia dieťaťa vo vnútri automobilu pomocou snímača mmWave (Texas Instruments Incorporated, 2018)

Na obrázku 29 sedia dvaja ľudia vedľa seba na zadnom sedadle. Ich obsadenie, označené dvomi červenými políčkami, je detegované snímačom mmWave. Scenár je možné ľahko rozšíriť na detekciu obsadenia vo viacerých radoch vozidla, pretože snímače mmWave môžu vidieť a rozlišovať ľudí na veľké vzdialenosti.



Obrázok 29: Senzor mmWave a snímání dvoch ľudí sediacich na zadnom sedadle (Texas Instruments Incorporated, 2018)

Na obrázku 30 senzor deteguje osobu, ktorá sa nachádza mimo vozidla, a ktorá by mohla byť potenciálnym narušiteľom. Ten istý snímač, ktorý zisťuje

obsadenosť vo vozidle, môže tiež zistiť osoby v bezprostrednej blízkosti. Je tiež možné implementovať pokročilé algoritmy na rozlíšenie medzi človekom a pohybujúcim sa objektom, ako napríklad vetvy stromov fúkajúce vo vetre.



Obrázok 30: Snímač mmWave deteguje možného narušiteľa za vozidlom (Texas Instruments Incorporated, 2018)

Senzory mmWave umožňujú riešenia nielen pre pokročilé asistenčné systémy vodiča, ale aj pre karosárske, podvozkové a palubné aplikácie. Detekcia detskej obsadenosti je súčasťou plánu pre hodnotenie nových automobilov (Euro NCAP), ktorého implementácia sa očakáva do roku 2020. Výrobcovia pôvodných zariadení pre automobilový priemysel (OEM) aj Tier-1 hľadajú technológiu snímania, ktorá dokáže túto funkciu poskytnúť bezkontaktným a nenápadným spôsobom. Medzi ďalšie kritické faktory patrí nákladová efektívnosť a faktor formy riešenia. Senzory mmWave sú optimalizované na jeden čip, majú malé a kompaktné rozmery a vysoké rozlíšenie.

(Texas Instruments Incorporated, 2018)

1.6.5 Radarový senzor Vayyar

Spoločnosť Vayyar Imaging so sídlom v Tel Avive má radarový čip, ktorý môže vytvárať trojrozmerný pohľad na to, čo sa deje vo vnútri vozidla, ako aj mimo neho. V súčasnosti sa však sústreďuje na zobrazenie kabíny auta, pretože regulačné orgány vyvíjajú tlak, aby do roku 2020 boli sledovacie systémy súčasťou kabíny.



Obrázok 31: Radarový senzor Vayyar (Vayyar Imaging, 2020)

Začína sa tým, že použijeme čip, ktorý je skrytý vo vnútri tenkého balenia, ktoré by sa mohlo skryť v streche alebo na palubnej doske. Na čipe je 48 radarov - vysielateľov na frekvencii 76 – 81 GHz, z ktorých 40 je pripojených k anténam na doske, čo umožňuje použiť viac ako 2000 virtuálnych kanálov. Ostatné sú držané v rezerve na účely vlastného monitorovania. 40 lúčov sa premieta súčasne do interiéru vozidla a ich odrazy sa prijímajú súčasne. Tento spôsob je známy ako MIMO (multiple in and multiple out). Čip obsahuje interný DSP na spracovanie signálu v reálnom čase. Výsledkom je 4D bodový model, ktorý umožňuje 4D vizualizácie s vysokým rozlíšením v reálnom čase v interiéru aj v exteriéri. Riešenie Radar on a Chip (ROC) sa dá ľahko

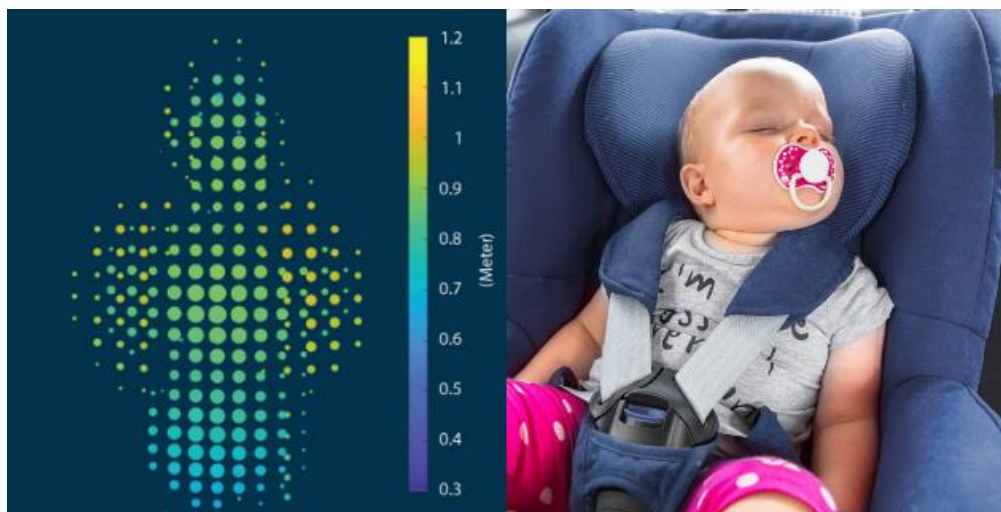
integrovat' do automobilu, čím sa znižujú celkové náklady a počet snímačov potrebných pre vozidlo.

Generuje tisíce lúčov. Prenášame lúče číslo 1, 2 a 3 a tak ďalej paralelne a prijímame ich na každom zo 40 prijímačov. Kombinácia nám dáva virtuálne body. Body vyzerajú ako voxel-volumetrická bunka, akú by sme dostali od radaru. Analyzujeme všetky paralelne, takže je to veľmi rýchle.

Prečo používať radar miesto kamier

- stojí menej ako kamera
- môže zaberat' celú kabínu, nielen sa zameriavat' na konkrétne sedadlo
- môže vidieť cez veci, ktoré blokujú pohľad kamery
- neuvádza podrobnosti o tvárach ľudí, a preto nemôže narušiť ich súkromie

Radar môže preniknúť cez sedadlá, ľudí a prikrývku hodenú na dieťa, ktoré by mohlo spať v autosedačke. Môže dokonca zistiť detské dýchanie. Radar samozrejme nemôže preniknúť do všetkého. (Copyright 2020 IEEE Spectrum, 2019)



Obrázok 32: 4D bodový model dieťaťa vo vozidle (Vayyar Imaging, 2020)

1.6.6 Payton's Charm

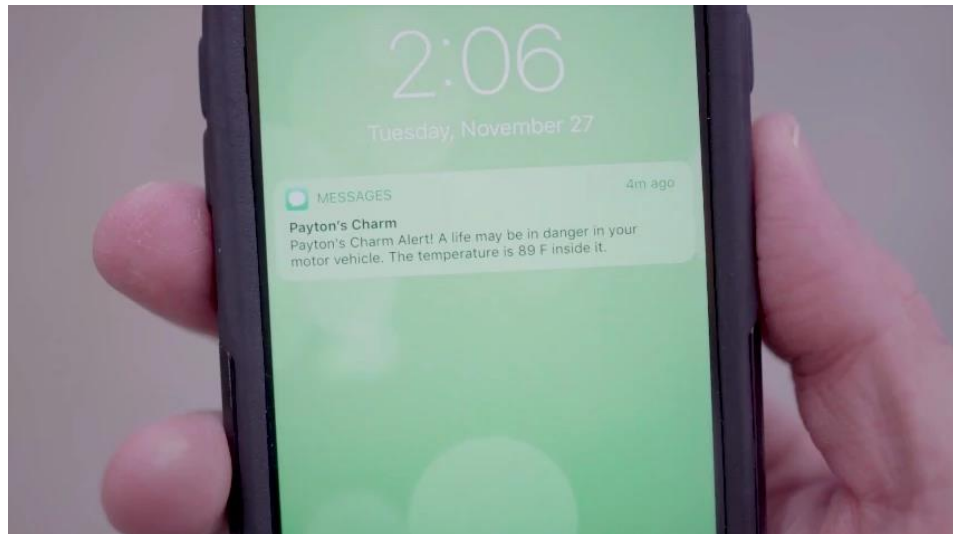
Aj keď si môžeme myslieť, že je to iba nezodpovedný, nedbanlivý človek, ktorý necháva dojčatá alebo domáce zvieratá v horúcich autách, niekedy sa to môže stať aj normálnym ľuďom, ktorí jednoducho zabudnú, že majú vo vozidle ďalšieho cestujúceho. Payton's Charm je navrhnutý tak, aby ich upozornil, ak by sa tak stalo.



Obrázok 33: Zariadenie do vozidla Payton's Charm (Coxworth, 2018)

Payton's Charm, ktorý vyvinula spoločnosť VI Enterprises so sídlom v Alabame, je pomenovaný po mladom dievčati, ktoré zomrelo na úpal po tom, ako ju otec zabudol v rodinnom aute. Zámerom je, aby bol natrvalo zapojený do sieťovej zásuvky vozidla, aj keď na jedno nabitie batérie môže fungovať až mesiac.

Integrovaný akcelerometer zisťuje, kedy vozidlo zastavilo a vtedy zariadenie začne monitorovať teplotu vzduchu vo vozidle spolu s obsahom oxidu uhličitého. Ak úrovne CO₂ naznačujú, že vo vozidle je dieťa, a ak teplota nebezpečne stúpa, Payton's Charm pošle textové upozornenie na smartfón používateľa.



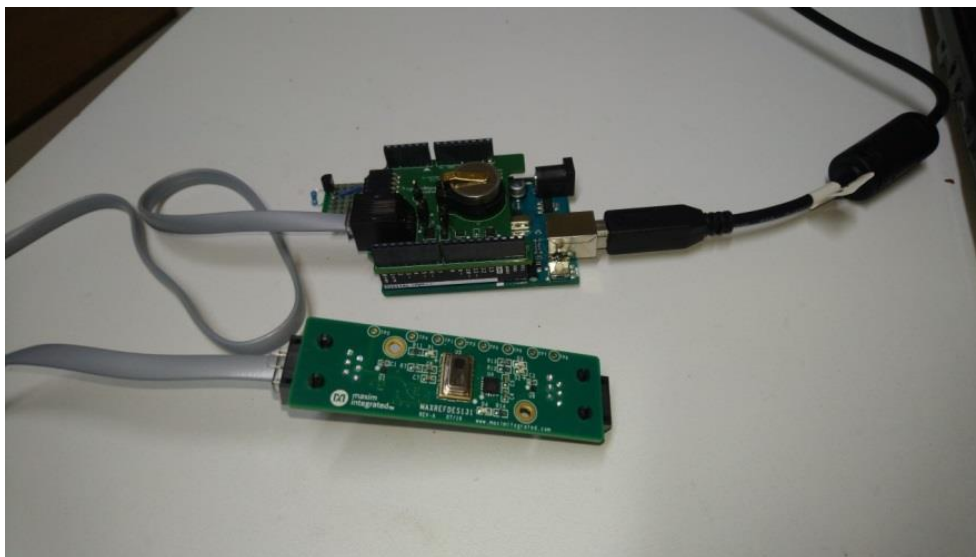
Obrázok 34: Textové upozornenie Payton's Charm (Coxworth, 2018)

Ak používateľ na tento text neodpovie, odošle sa druhé upozornenie na iné vopred určené telefónne číslo. Ak sa táto správa tiež nepotvrdí, zariadenie vyšle výstrahu pohotovostným službám s GPS súradnicami vozidla. Ak je batéria takmer vybitá, pošle sa používateľovi správa.

(Coxworth, 2018)

1.6.7 Zariadenie pre zabránenie zabudnutia detí v aute Car-e-Baby

Zariadenie pre zabránenie zabudnutia detí v aute Car-e-Baby môžeme nazvať ako asistenčný systém vo vozidle, ktorý slúži na zvýšenie bezpečnosti cestujúcich vozidla, a to hlavne detí alebo zvierat, na ktoré by mohol človek zabudnúť vo vozidle. Je veľmi dôležité, aby nás asistenčný systém dostatočne skoro varoval, že sme niekoho zabudli vo vozidle, a to hlavne v letných dňoch, kedy teplota vozidla veľmi rýchlo stúpa, a tak sa stáva životu nebezpečná pre všetkých, ktorí vo vozidle ostali. Tento asistenčný systém si do detailu rozoberieme v druhej časti diplomovej práce s názvom „2. systémová analýza systému Car-e-Baby“.



Obrázok 35: Car-e-Baby s infračerveným snímačom Grid-EYE

2 Systémová analýza systému Car-e-Baby

V tejto časti diplomovej práce sa budeme zaoberať tým, ako by sa dalo použitím infračerveného senzora Grid-EYE a rôznych súčiastok zostrojiť asistenčný systém, ktorý by mal zabrániť zabudnutiu dieťaťa v aute. Tento systém sme nazvali Car-e-Baby.

Car-e-Baby bude mať vlastnú riadiacu jednotku, ktorá bude fungovať aj po vypnutí a zamknutí vozidla, aby stále kontrolovala, či sa vo vozidle nenachádza zabudnuté dieťa alebo zviera. Táto riadiaca jednotka bude mať tiež čiernu skrinku pre prípad zálohy, či všetko fungovalo, keby sa niečo stalo. Ďalej bude riadiaca jednotka prijímať signály z rôznych snímačov vozidla a tiež signál z infračerveného senzora alebo viacerých infračervených sensorov Grid-EYE. Po prijatí hodnôt riadiaca jednotka vyhodnotí situáciu, a ak by človek dieťa v aute zabudol, tak ho hneď informuje buď zvukovým a svetelným alarmom vozidla alebo pomocou komunikačných jednotiek GSM, Bluetooth a Wifi, prípadne dokáže otvoriť okná alebo aj dvere na vozidle. Tento asistenčný systém by mal zistiť prítomnosť dieťaťa alebo zvieratá vo vozidle v čo najkratšom čase po vypnutí a zamknutí vozidla a tiež so stopercentnou účinnosťou, pretože si nesmieme dovoliť, aby nejaké dieťa alebo zviera prišlo o život tak strašnou smrťou.

2.1 Analýza známych riešení systémov pre detekciu zabudnutých detí

V tejto kapitole diplomovej práce porovnáme a určíme požiadavky, ktoré musí splniť asistenčný systém Car-e-Baby. Porovnáme ho s existujúcimi asistenčnými systémami, ktoré výrobcovia automobilov použili v najnovších modeloch svojich vozidiel a tiež s asistenčnými systémami, ktoré vyvinuli iné firmy a chcú ich predávať buď samostatne alebo ich predat' výrobcom automobilov. Ako fungujú asistenčné systémy, s ktorými budeme porovnávať asistenčný systém Car-e-Baby sme vysvetlili v prvej časti diplomovej práce, ktorá sa volá „1. Vymedzenie základných pojmov predmetnej oblasti“.

2.1.1 Porovnávacia analýza známych riešení

Tabuľka 2: Porovnávacia analýza známych riešení

	mmWave TI	Vayyar	Payton's Charm	Pripomienka zadných sedadiel	Car-e-Baby
Výhody zariadenia	Možnosť použiť aj na ochranu pred krádežou	Chráni súkromie osôb, môže zaberat' celé vozidlo, je lačnejší ako kamera	Sníma CO ₂ a teplotu vo vnútri vozidla po zastavení	Upozorní vždy po vypnutí vozidla, že boli otvárané zadné dvere a treba skontrolovať zadné sedáčky	Sníma priamo sedačku, kde pomocou rozdielu teplôt vie, či sa tam dieťa nachádza alebo nie
Nevýhody zariadenia	Radar nedokáže preniknúť cez kovové materiály použité v interiéri auta a môže vzniknúť slepé miesto	Radar nedokáže preniknúť cez kovové materiály použité v interiéri auta a môže vzniknúť slepé miesto	Zariadeniu sa môže vybit' batéria a stane sa nefunkčným	Nevie, či sa tam nachádza dieťa alebo je tam len nejaká materiálna neživá vec	Funkčnosť infračerveného snímača pri vyšších teplotách, zatiaľ nie je súčasťou asistenčného systému vo vozidlách
Cena zariadenia	1000 €	Systém chcú predat' výrobcom automobilov	321 €	Je to asistenčný systém v nových vozidlách značiek Nissan, GMC, Hyundai	200 €
Princíp funkcie	Radarová technológia	Radarová technológia	Integrovaný akcelerometer a snímač CO ₂	Snímač otvorenia dverí a upozornenie na palubnom počítači	Infračervený senzor
Zdroje	(Texas Instruments Incorporated, 2018)	(Vayyar Imaging, 2020)	(Coxworth, 2018)	(GMC, 2018) (Holmes, 2018) (Karpát, 2018)	(Panasonic Industry, Europe, 2020)

2.1.2 Analýza požiadaviek na systém Car-e-Baby

Dôležitá časť pri vytvorení systému, ktorý ma zabrániť zabudnúť dieťa v aute, je analyzovať si všetky požiadavky. Systém Car-e-Baby tak môžeme rozdeliť na minimálne a maximálne požiadavky, ktoré musí systém dokázať splniť, aby dokázal pracovať stopercentne.

Minimálne požiadavky na systém sú, aby dokázal pomocou infračerveného senzora Grid-EYE zaznamenať dieťa alebo zviera nachádzajúce sa v zadnej časti vozidla. Ak človek toto dieťa alebo zviera zabudne, tak ho systém musí nejakým spôsobom upozorniť v čo najkratšom čase z dôvodu rýchleho stúpania teploty vozidla zaparkovaného počas letných mesiacov na slnku, ba dokonca aj v tieni. Medzi tieto minimálne požiadavky môžeme zaradiť aj napríklad požiadavky talianskej vlády, ktorá 8.11.2019 ustanovila zákon, ktorý talianskym motoristom prikazuje vybaviť svoje auto výstražným zariadením, ktoré vodiča upozorní na prítomnosť dieťaťa vo vozidle. Výstražný systém musí byť namontovaný na autosedačkách pre deti mladšie ako štyri roky a vodiča by mal upozorňovať na prítomnosť dieťaťa vibrujúcimi zvukovými a obrazovými signálmi, ktoré sú detekovateľné zvnútra a zvonku vozidla.

Maximálne požiadavky na systém sú také, že infračervený senzor Grid-EYE musí pracovať efektívne stále a to aj pri slnečnom alebo zamračenom počasí, ba dokonca aj v noci, kedy môže rodič dieťa zabudnúť vo vozidle, napríklad z dôvodu únavy z práce. Je veľmi dôležité, aby bol systém stále funkčný počas jazdy a hlavne po vypnutí a uzamknutí vozidla, preto je nutné, aby bol napojený priamo z akumulátora vozidla. Systém Car-e-Baby bude získavať množstvo informácií z riadiacich jednotiek vozidla pre spoľahlivý chod. Napríklad informácie zo snímača pásu dajú systému Car-e-Baby znamenie, že sa niekto vo vozidle pripútal, a tak je dosť možné, že sa tam nejaká osoba nachádza. Preto riadiaca jednotka systému Car-e-Baby bude tieto informácie z iných riadiacich jednotiek zbierať, budú jej slúžiť na kontrolu a správny chod systému. Po tom, čo všetky snímače a infračervený senzor Grid-EYE zistia prítomnosť dieťaťa alebo zvieraťa vo vozidle, ktoré majiteľ nevedomky opustil, musí riadiaca jednotka majiteľa informovať. Informovať ho bude buď zvukovým a svetelným alarmom vozidla alebo pomocou komunikačných

jednotiek GSM, Wifi alebo Bluetooth. Pomocou komunikácie s inými riadiacimi jednotkami dokonca dokáže otvoriť okná alebo dvere vozidla, aby sa tak znížilo riziko zvýšenia teploty vozidla. Systém má tiež malú spotrebu elektrickej energie, aby pracoval stále, aj keď je auto už niekoľko hodín odstavené, a to preto, že takmer dvadsaťpäť percent úmrtí dieťaťa v rozpálenom vozidle je z dôvodu, že dieťa sa samo dostalo do vozidla a už sa nedokázalo dostať von.

2.2 Systémová analýza zariadenia Car-e-Baby

Zariadenie Car-e-Baby má vlastnú riadiacu jednotku, ktorá bude komunikovať s viacerými riadiacimi jednotkami vozidla a využívať ich snímače a akčné členy k plneniu svojej úlohy, ktorou je zabránenie zabudnúť dieťa alebo zviera vo vozidle. V tejto časti diplomovej práce uvedieme riadiace jednotky, snímače a akčné členy, ktoré by mali s asistenčným systémom Car-e-Baby spolupracovať, aby mohol fungovať správne.

Riadiace jednotky môžeme použiť v navrhovanom asistenčnom systéme:

- riadiaca jednotka Airbagu
- riadiaca jednotka ABS
- riadiaca jednotka Multifunkčného systému
- riadiaca jednotka Motora
- riadiaca jednotka Dverí
- riadiaca jednotka Centrálného zamykania

Snímače vozidla, ktoré môžeme použiť v navrhovanom asistenčnom systéme:

- snímač otáčania kolies
- snímač pásu
- snímač tepoty v aute
- snímač vonkajšej teploty
- snímač tlaku v sedačke
- snímač zatvorenia dverí
- snímač zatvorenia okien
- snímač zámku

- snímač otáčok motora
- snímač osvetlenia
- mikrofón v aute

Akčné členy vozidla, ktoré môžeme použiť v navrhovanom asistenčnom systéme:

- zvukový alarm
- otvorenie dverí
- otvorenie okien

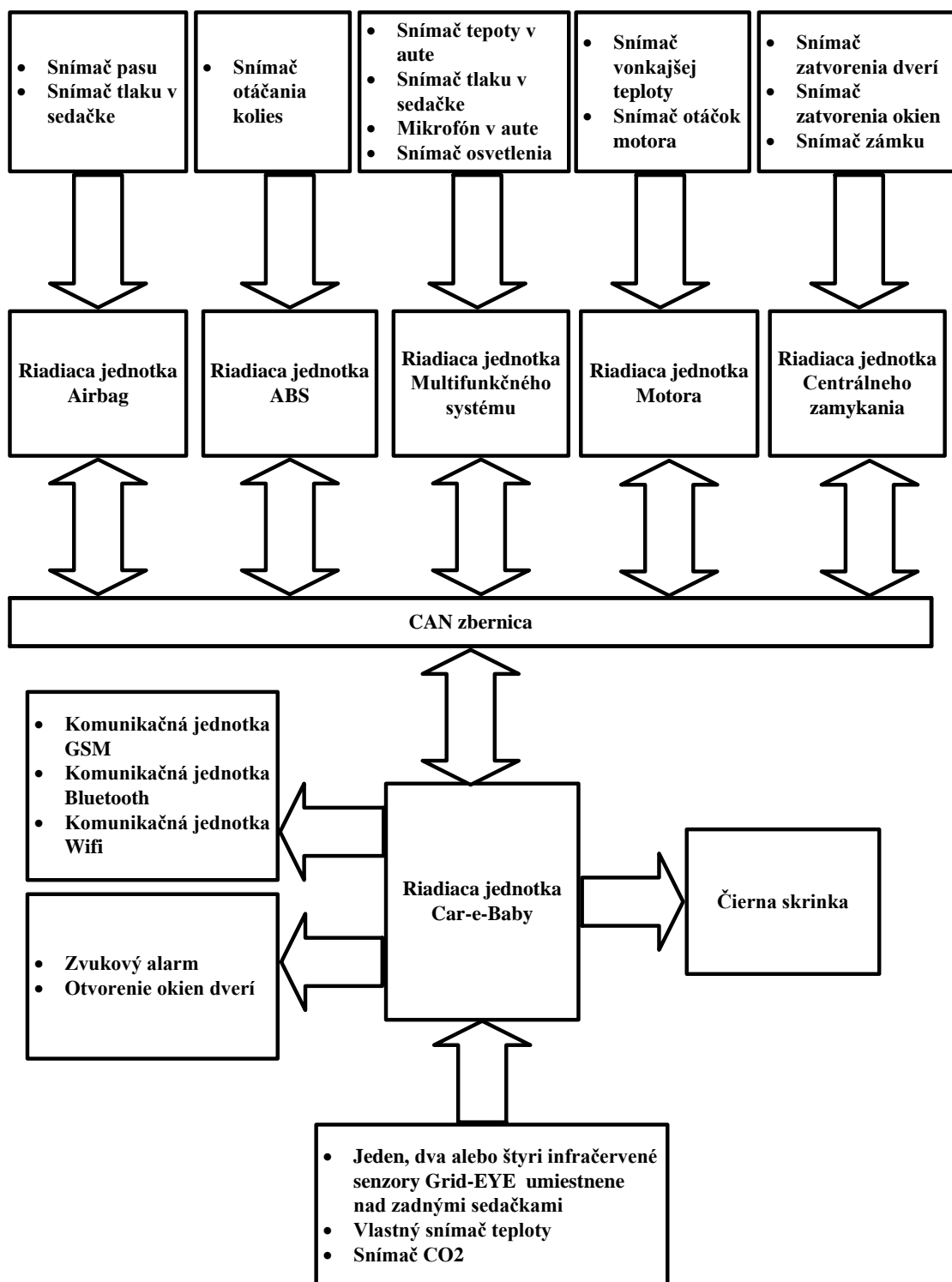
Vlastné snímače asistenčného systému Car-e-Baby:

- jeden, dva alebo štyri infračervené senzory Grid-EYE
- vlastný snímač teploty riadiacej jednotky Car-e-Baby
- snímač CO₂

Vlastné akčné členy asistenčného systému Car-e-Baby:

- komunikačná jednotka GSM
- komunikačná jednotka Bluetooth
- komunikačná jednotka Wifi
- čierna skrinka

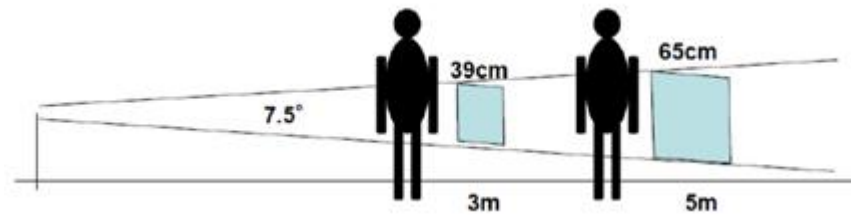
2.2.1 Bloková schéma



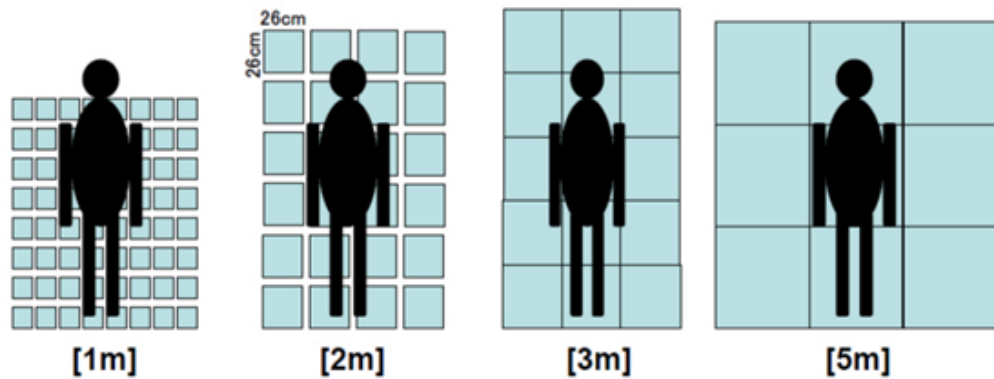
Obrázok 36: Bloková schéma systému Car-e-Baby

2.2.2 Geometrická analýza

V geometrickej analýze nás zaujíma zobrazenie osoby alebo dieťaťa pomocou senzora Grid-EYE 8833. Ako východisko pre geometrickú analýzu sme použili materiál (Panasonic Industry, Europe, 2020) a z neho dva obrázky 37 a 38, kde môžeme vidieť zobrazenie dospelého človeka pri rôznych vzdialenostiach.

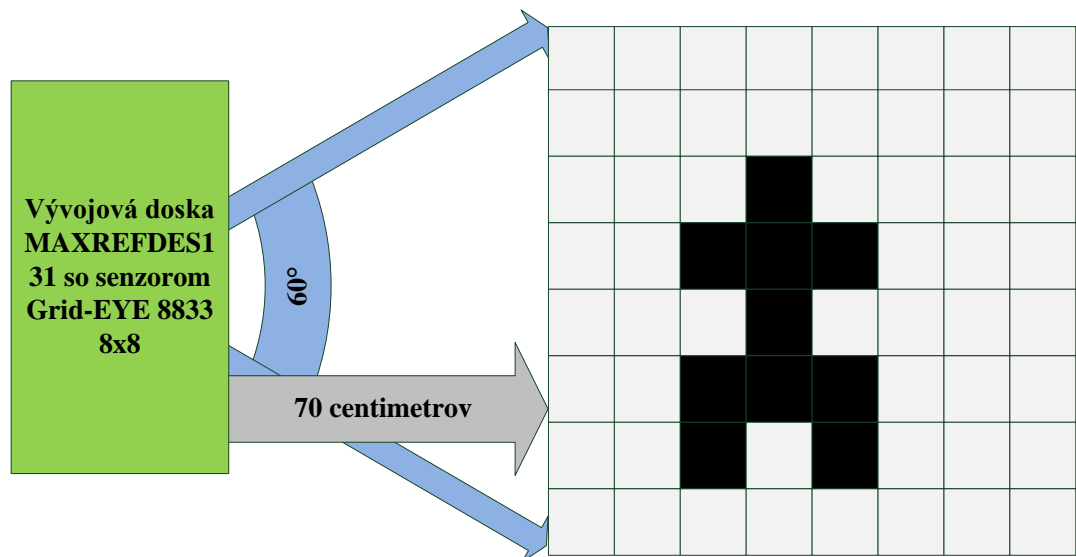


Obrázok 37: Vzťah medzi ľudským telom, veľkosťou pixelu a detekčnou vzdialenosťou 1 (Panasonic Industry, Europe, 2020)

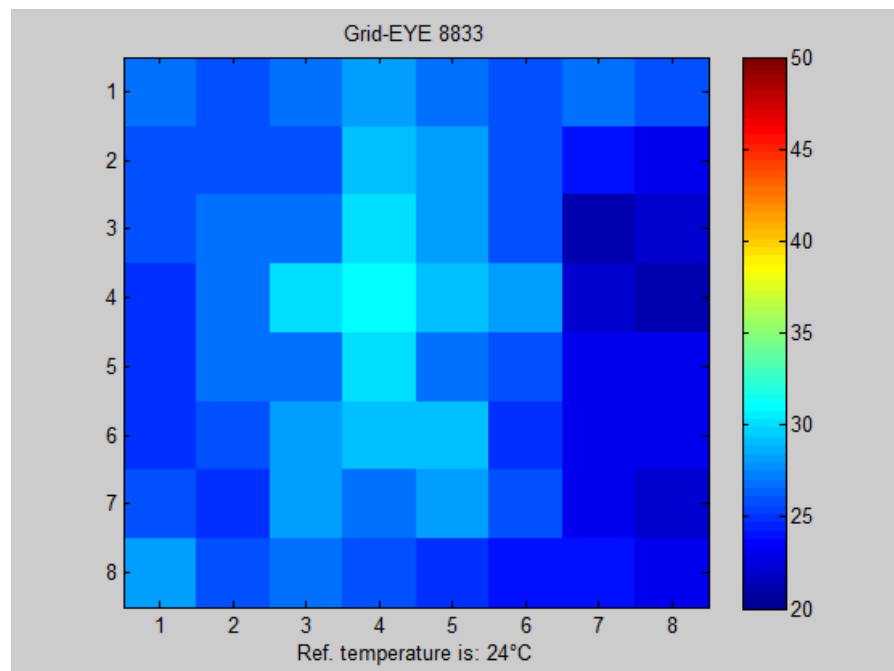


Obrázok 38: Vzťah medzi ľudským telom, veľkosťou pixelu a detekčnou vzdialenosťou 2 (Panasonic Industry, Europe, 2020)

Na obrázku 39 môžeme vidieť dieťa v autosedačke nahradené Fantómom, ktoré je vzdialené 70 centimetrov, čo je vzdialenosť ak by sa senzor Grid-EYE nachádzal v operadle sedačky vozidla. Obrázok 40 je snímok Fantóma pomocou senzora Grid-EYE.



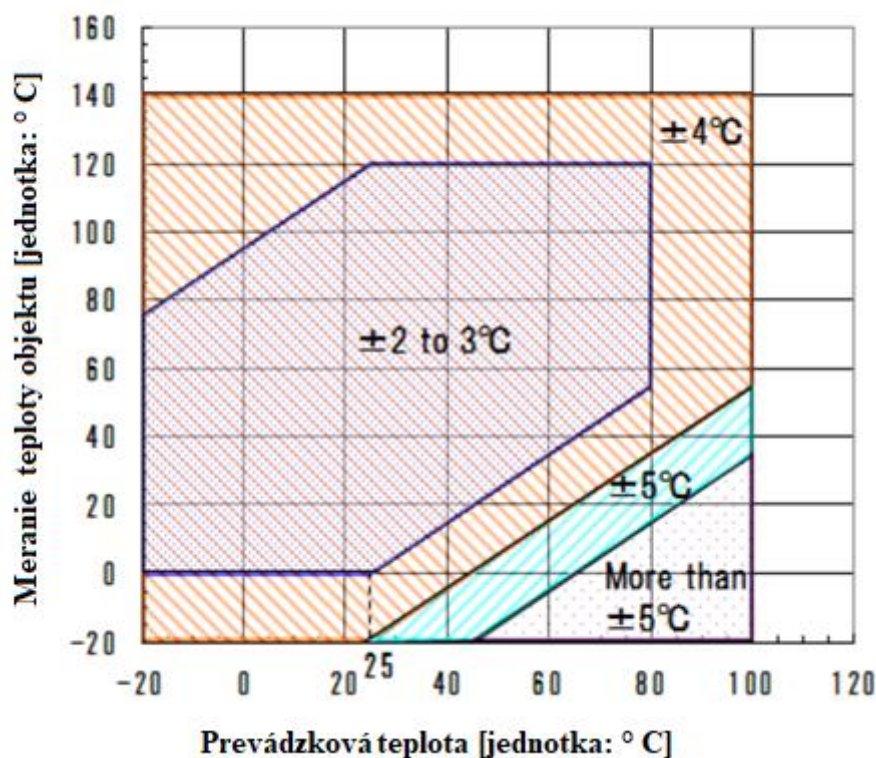
Obrázok 39: Zobrazenie Fantóma v aute



Obrázok 40: Snímok Fantóma pomocou senzora Grid-EYE

2.2.3 Citlivostná analýza

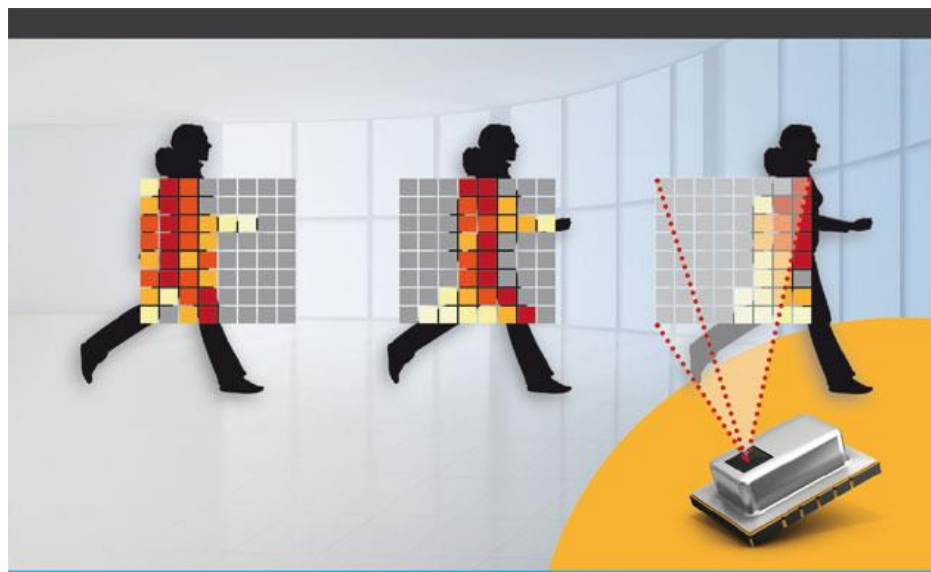
Keďže senzor Grid-EYE sa bude montovať alebo do stropu vozidla alebo do operadla, tak už teraz vieme, že vzdialenosť dieťaťa od senzora bude jeden meter alebo menej. Ak je senzor Grid-EYE vzdialený od meraného objektu jeden meter, tak jeden snímací element senzora, ktorý zodpovedá $7,5^\circ$, meria plochu 13×13 centimetrov, ale v prípade, že by sa použila korekcia geometrického skreslenia, mohli by sme použiť ešte vyššie rozlíšenie. Keďže v každom riadku a stĺpci je po 8 snímacích elementov, ktoré majú snímací uhol $7,5^\circ$, tak majú spolu zorné pole 60° . Ak použijeme korekciu geometrického skreslenia, môžeme ísť na subpixelové rozlíšenie, a to tak, že použijeme dva alebo viac senzorov Grid-EYE, ktoré budú naraz snímať to isté dieťa, a tak by nemala vzniknúť situácia, kedy by senzory dieťa nezachytili.



Obrázok 41: Citlivostná analýza senzora Grid-EYE (snímková frekvencia 1 snímok /sekundu a použitý bol kľzavý priemer) (Panasonic Industry, Europe, 2020)

2.2.4 Dynamická analýza systému

V dynamickej analýze systému si povieme o rýchlosti snímania senzora Grid-EYE, a či nám jeho rýchlosť vyhovuje. Keďže senzor bol prioritne určený pre detekciu prechádzajúcich ľudí, snímková frekvencia senzora Grid-EYE je 10 snímkov / s alebo 1 snímok / s, čo je dostatočne rýchle pre náš systém Car-e-Baby, keďže teplota vzduchu vo vozidle síce stúpa rýchlo, ale pre náš systém by stačila aj rýchlosť snímania 1 snímok / 15 sekúnd. Táto rýchlosť sa dá nastaviť pri programovaní riadiacej jednotky.



Obrázok 42: Detekcia prechádzajúcich ľudí (Panasonic Industry, Europe, 2020)

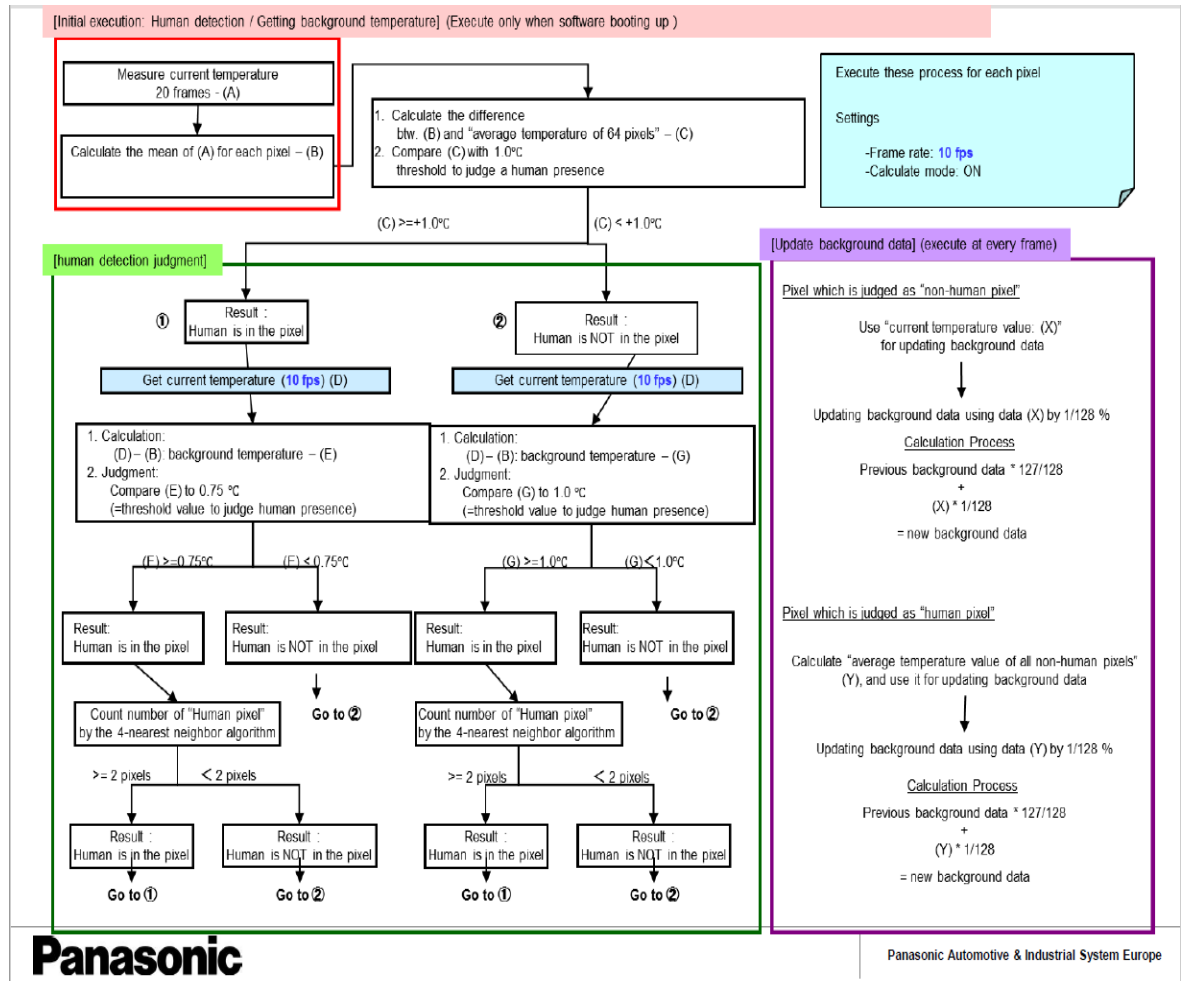
Keďže senzor Grid-EYE použijeme na zameranie dieťaťa vo vozidle, tak na ďalších obrázkoch môžeme vidieť, ako nám bude senzor dieťa vykresľovať. Senzor bude prichytený buď na strope vozidla alebo v operadle sedačky a namierený na sedačku, kde sa dieťa nachádza. Preto si môžeme všimnúť ako osobu zobrazí senzor približne zo vzdialenosti 1 meter, a to je na obrázku dospelý človek, čiže v našom prípade bude osoba menšia. Aj keď v našom asistenčnom systéme Car-e-Baby počítame s viacerými infračervenými senzormi Grid-EYE, a to preto, aby sa prekrývali, a tak získali lepší obraz a presnejšie meranie dieťaťa, aby sa nestalo, že by ho senzor z nejakého dôvodu nezaznamenal, takže je väčšia pravdepodobnosť, že druhý, tretí alebo štvrtý senzor zisti prítomnosť dieťaťa.

2.2.5 Diskusia k analytickej časti

V dnešnej dobe sú vozidlá plné elektroniky, preto je veľmi dôležité, aby výrobcovia automobilov začali riešiť aj problematiku okolo zabúdania detí a zvierat vo vozidlách. V systémovej analýze systému Car-e-Baby sme si predstavili asistenčný systém, ktorý by mohli výrobcovia automobilov montovať do vozidiel, aby sa tak zabránilo zabudnutiu dieťaťa alebo zvierťa vo vozidle.

Tento asistenčný systém, ktorý sme pomenovali Car-e-Baby, bude mať vlastnú riadiacu jednotku, ktorá bude komunikovať s ďalšími riadiacimi jednotkami vozidla a tiež okrem toho bude mať čiernu skrinku a vlastné senzory, od ktorých bude prijímať dáta. Hlavný senzor systému bude infračervený senzor Grid-Eye, ktorý bude snímať sedačku, na ktorej sa dieťa nachádza a tak pomocou tepelného obrazu zistí, či majiteľ dieťaťa zabudol alebo nie. Ak áno, tak dá túto informáciu riadiacej jednotke, ktorá bude okamžite konať, a to tým, že sa bude snažiť na to upozorniť majiteľa vozidla. Tento asistenčný systém musí spoľahlivo pracovať aj po zamknutí vozidla, a preto musí byť priamo napájaný z akumulátora vozidla. Čierna skrinka sa v ňom nachádza na to, aby v prípade, že sa niečo stane, bude môcť oprávnená osoba skontrolovať, či bol systém funkčný alebo sa stala chyba niekde inde.

Jediný problém nastáva vtedy, ak je teplota ovzdušia a teplota dieťaťa alebo zvierťa rovnaká a mohlo by sa stať, že infračervený senzor nespozná dieťa, a preto je veľmi dôležité mať v asistenčnom systéme ďalšie snímače, ktoré nám budú vedieť podľa hodnôt povedať, že tam niečo je. Napríklad podľa porovnania s inými asistenčnými systémami sme dospeli k záveru, že by bolo dobré použiť aj radarovú technológiu, ktorá nemá problém s teplotou, avšak má problém, že nedokáže preniknúť cez kovové materiály použité v interiéri auta a môže vzniknúť slepé miesto.



Obrázok 43: Vývojový diagram detekcie ľudí s odčítaním pozadia

Na obrázku 43 je vývojový diagram detekcie ľudí s odčítaním pozadia, na ktorom nám výrobca hovorí, že senzoru stačí 1°C na to, aby dokázal rozpoznať človeka od pozadia. Tým pádom by senzor Grid-EYE dokázal stále spoľahlivo fungovať v našom asistenčnom systéme Car-e-baby. Avšak touto témou sme sa nestihli zaoberať do detailu z toho dôvodu, že to je veľmi rozsiahla problematika a mohli by sa tým zaoberať ďalší študenti, ktorí budú mať túto tému ako diplomovú prácu.

3 Návrh a realizácia demonštračného vzoru zariadenia a jeho overenie v praxi

V tretej časti diplomovej práce sme pomocou vývojových dosiek MAXREFDES131 (Maxim Integrated, 2019), MAXREFDES132 (Maxim Integrated, 2019) a Arduino UNO (Arduino, 2018), ich spojením a naprogramovaním v programe Matlab dokázali vygenerovať obraz z infračerveného senzora Grid-EYE. Taktiež sme k vývojovej doske MAXREFDES132 pripojili samostatný snímač teploty DS18B20 pre skontrolovanie, či infračervený senzor Grid-EYE pracuje správne. Pomocou tohto demonštračného vzoru zariadenia sme robili merania teplôt a tepelného obrazu zabudnutého dieťaťa vo vozidle.

Dieťa nám nahradila figurína zostrojená z plastových fliaš naplnených vodou a natretá sivou farbou, ktorá má emisivitu 0,97, a tak sa čo najviac priblíži emisivite ľudskej kože, ktorá je 0,975. Ak by sme figurínu nenatreli, jeho emisivita by bola na hodnote 0,94. Testovaciu figurínu sme nazvali Fantóm. Fantóm je vysoký 57 centimetrov a široký 30 centimetrov a je v ňom 4,25 litra vody, ktorej teplotu budeme merať, a tak uvidíme ako stúpa, čo by malo pri skutočnom dieťati smrteľné následky.

Na meranie tepoty dieťaťa a tepoty vo vozidle sme použili digitálny teplomer Auriol IAN 291520 (Auriol, 2020), ktorého jedna sonda bola priamo namočená v tele dieťaťa. Ďalej sme použili bezdrôtový termostat COMPUTHERM Q3 RF (KurenjeZen, 2020) na meranie vonkajšej teploty a diagnostiku iCarScan VCI (iCarScan VCI, 2020), ktorú sme napojili na merané vozidlo. Sledovali a zapisovali sme z nej vonkajšie a vnútorné teploty z teplomera, ktorý je umiestnený výrobcom za čelným sklom. Poslednou sledovanou hodnotou bola teplota zo snímača teploty DS18B20, ktorý bol vonku. Na meranie sme použili automobil Volkswagen Passat kombi tmavo modrej farby, ktorý používa veľa rodín s malými deťmi. Ďalej si vypíšeme pár základných vlastností vývojových dosiek a teplomerov použitých pri meraní.

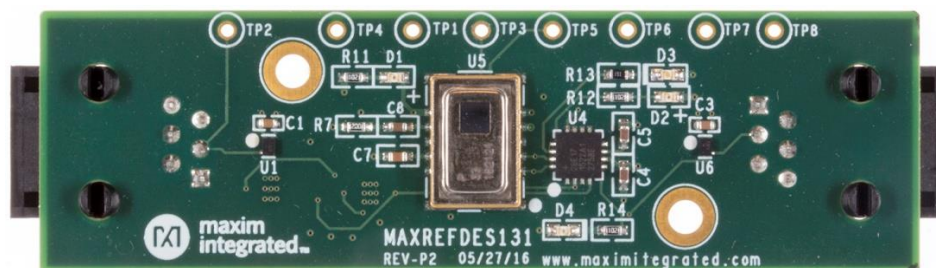
MAXREFDES131

MAXREFDES131 je doska pre senzor Panasonic AMG8833 Grid-EYE a Maxim 1-wire bus umožnená pomocou DS28E17. Systém umožňuje snímanie prítomnosti osôb, počítanie ľudí a gestá, zatiaľ čo môže prenášať dáta po 100 metroch 1-vodičovej zbernice. Doska obsahuje konektory RJ-11 a pohodlné montážne otvory pre rýchle vyhodnotenie a implementáciu.

Vlastnosti

- 1-drôtová sieť
- flexibilné umiestnenie
- režim spánku
- príklad zdrojového kódu
- ukázkové GUI

(Maxim Integrated, 2019)



Obrázok 44 MAXREFDES131 # (Maxim Integrated, 2019).

MAXREFDES132

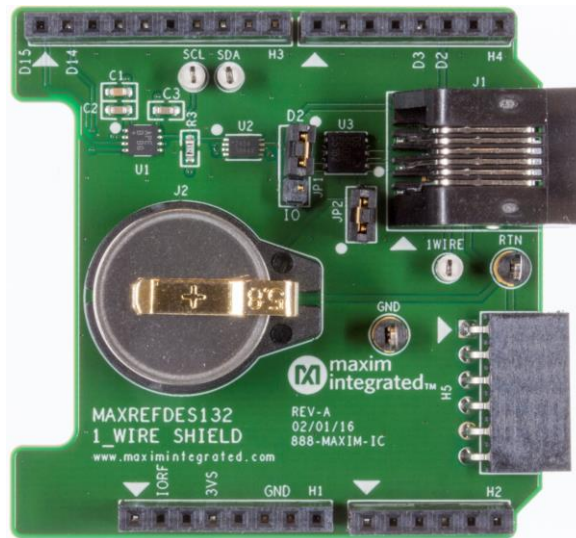
MAXREFDES132 poskytuje vývojovú dosku pre prepojenie s 1-Wire zariadeniami, 1-Wire vyhodnocovacími sadami (EV kity), a iButton zariadeniami pomocou DS2484 I² master C-k-1-Wire alebo bit tresku Velitel' D2 pinoutu Arduino s tvarovým faktorom.

Vlastnosti

- DS2484 1-Wire master
- zásuvka i5B F5
- 6P6C RJ-11 jack

- knižnica mbed.org a Arduino knižnice
- Arduino tvarový faktor štít

(Maxim Integrated, 2019)



Obrázok 45: MAXREFDES132 # (Maxim Integrated, 2019)

Arduino Uno

Arduino Uno Rev3 SMD je doska mikrokontroléra založená na modeli ATmega328. Má 14 digitálnych vstupných / výstupných pinov (z ktorých 6 možno použiť ako výstupy PWM), 6 analógových vstupov, keramický rezonátor 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), pripojenie USB, napájací konektor, hlavičku ICSP a reset tlačidlo. Obsahuje všetko potrebné na podporu mikrokontroléra, jednoducho sa pripojí k počítaču pomocou kábla USB, alebo sa napája pomocou adaptéra striedavého prúdu na jednosmerný prúd alebo batérie. ATmega16U2 namiesto 8U2 ako prevodník USB na sériové číslo.

(Arduino, 2018)



Obrázok 46: Arduino Uno (Arduino, 2018)

Snímač teploty DS18B20

DS18B20 je 1-Wire senzor teploty vyrábaný firmou Dallas Semiconductor Corp. Unikátny 1-Wire Interface vyžaduje iba jeden digitálny pin pre obojsmernú komunikáciu s mikrokontrolérom. Snímač teploty DS18B20 je pomerne presný a na fungovanie nepotrebuje žiadne externé komponenty. Môže merať teploty od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s presnosťou $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozlíšenie teplotného senzora je konfigurovateľné užívateľom na 9, 10, 11 alebo 12 bitov. Predvolené rozlíšenie pri zapnutí je však 12-bitové s presnosťou $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$. Senzor môže byť napájaný 3V až 5,5V napájaním a pri aktívnych teplotných prevodoch spotrebuje iba 1 mA.

(LastMinuteEngineers, 2018)



Obrázok 47: Typy snímača teploty DS18B20 (LastMinuteEngineers, 2018)

Auriol IAN 291520

- s LED alarmom a displejom hodín
- vnútorný / vonkajší teplomer
- s alarmom mrazu - možno vypnúť
- LCD displej zobrazuje teplotu miestnosti, vonkajšiu teplotu a čas
- vonkajší merací rozsah -50 až 70 °C - je možné prepnúť na °F
- so zabudovanou pamäťou teploty (funkcia min./max.)
- vonkajší snímač s káblom 3 m
- obsahuje 1 x 1,5 V batériu AA
- rozmery: 11,6 x 3 x 2,8 cm

(Auriol, 2020)



Obrázok 48: Auriol IAN 291520 (Auriol, 2020)

Bezdrôtový termostat COMPUTHERM Q3 RF

- nastaviteľný merací rozsah teploty: 10 – 30 °C (s krokom 0,5 °C)
- merací rozsah teploty: 5 – 35 °C (s krokom 0,1 °C)
- spojovacia citlivosť: $\pm 0,2 / \pm 0,3$ °C
- zaťažiteľnosť: 5A (induktívna záťaž 2A)
- batériové napätie: 2 x 1,5 V
- prevádzková frekvencia: 868,35 MHz
- dosah: 50 metrov vo voľnom priestore

(KurenieZen, 2020)



Obrázok 49: Computherm Q3 RF (KurenieZen, 2020)

iCarScan VCI

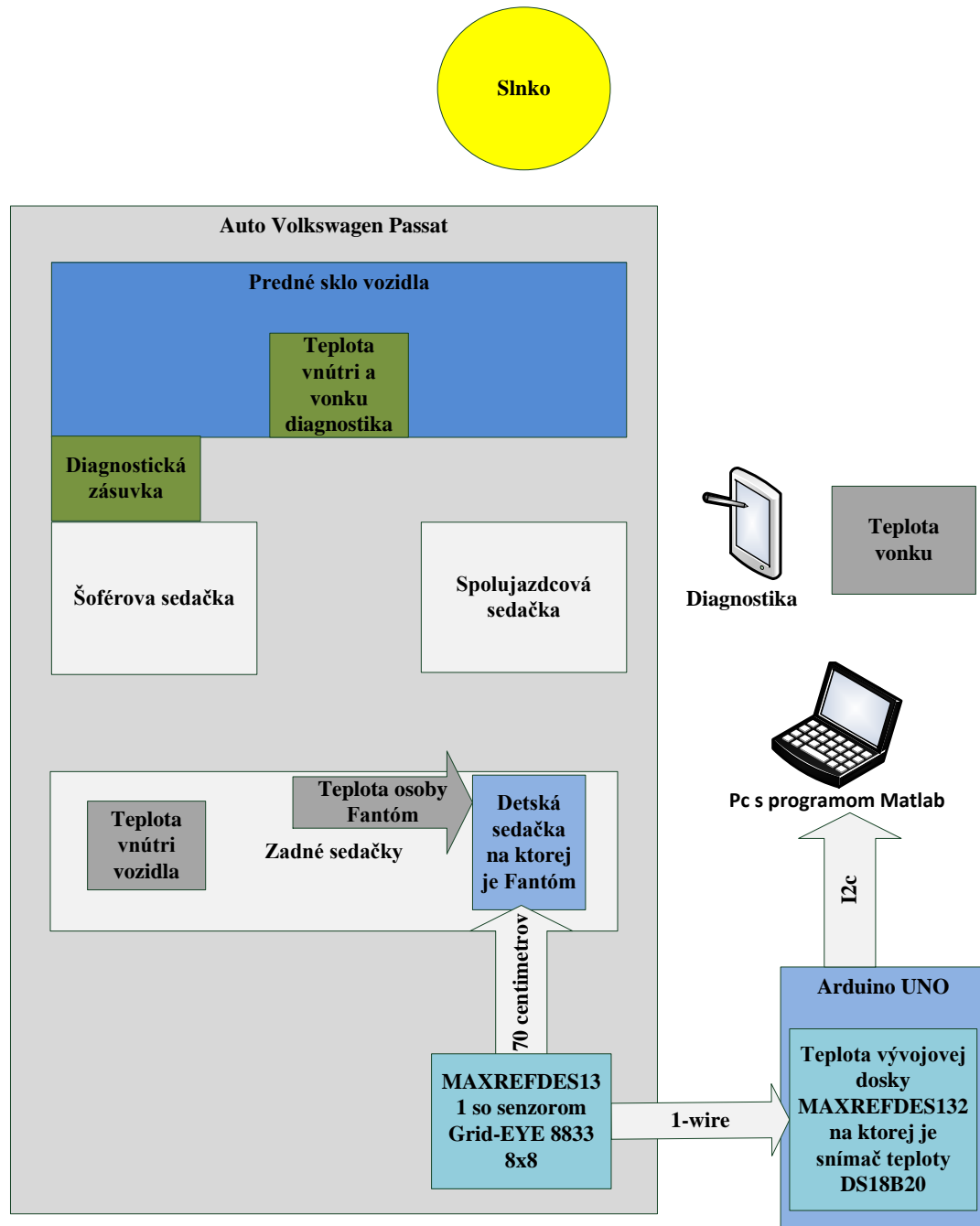
iCarScan VCI je profesionálny automobilový diagnostický nástroj, ktorý pomocou funkcie Bluetooth funguje s tabletom, ktorý má operačný systémom Android. Plne funkčná diagnostika zahŕňa chybové kódy, ich čítanie, vymazanie, aktuálne hodnoty snímačov, test akčných členov, prispôbenie, kódovanie a programovanie ECU, resetovanie oleja a ďalšie špeciálne funkcie.

(iCarScan VCI , 2020)



Obrázok 50: iCarScan VCI (iCarScan VCI , 2020)

3.1 Bloková schéma merania



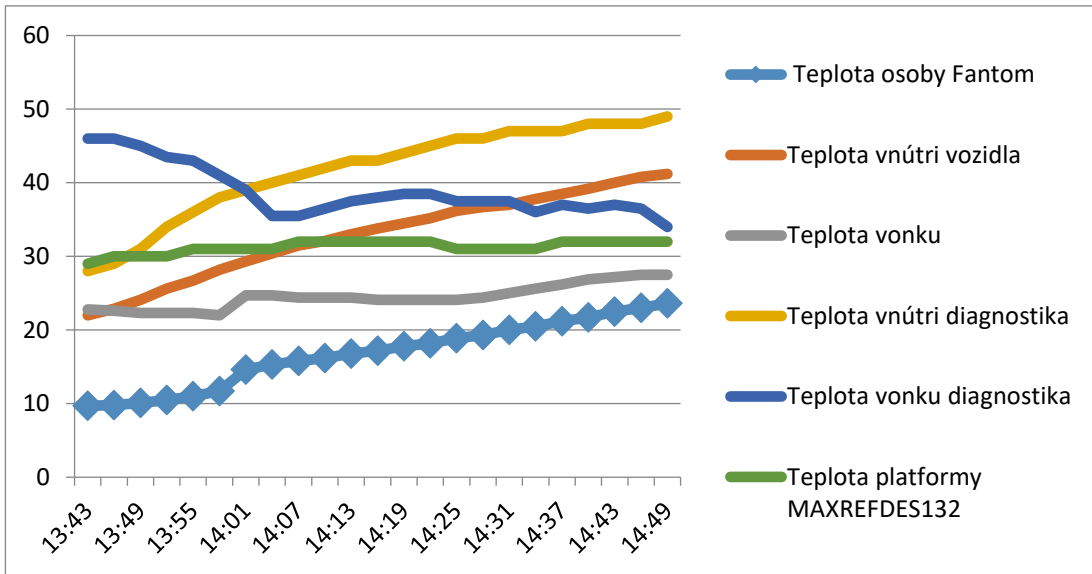
Obrázok 51: Bloková schéma merania

3.2 Meranie č.1

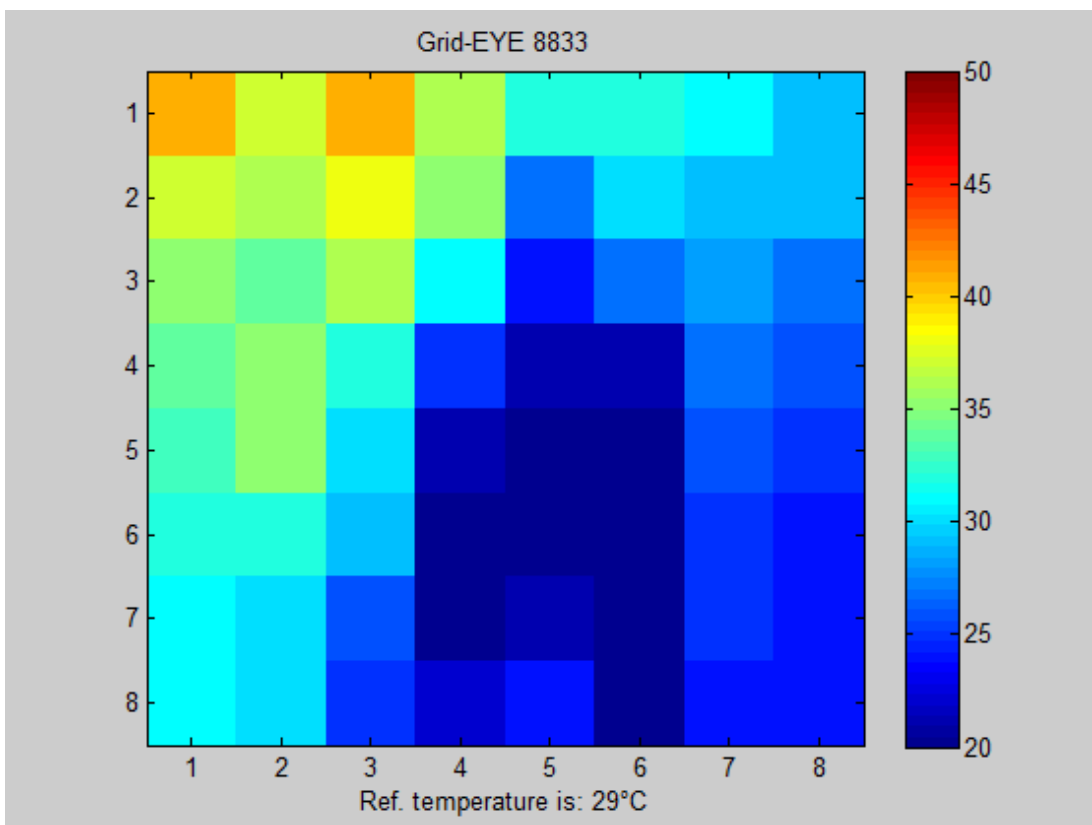
Meranie sme robili v rodinnom dome v Rajci dňa 9.5.2020 počas slnečného dňa, kedy počasie na internete uvádzalo tepotu 22 °C a bolo bezvetrie. Fantóma som naplnil vodou s teplotou 9,7 °C.

Tabuľka 3: Meranie č.1

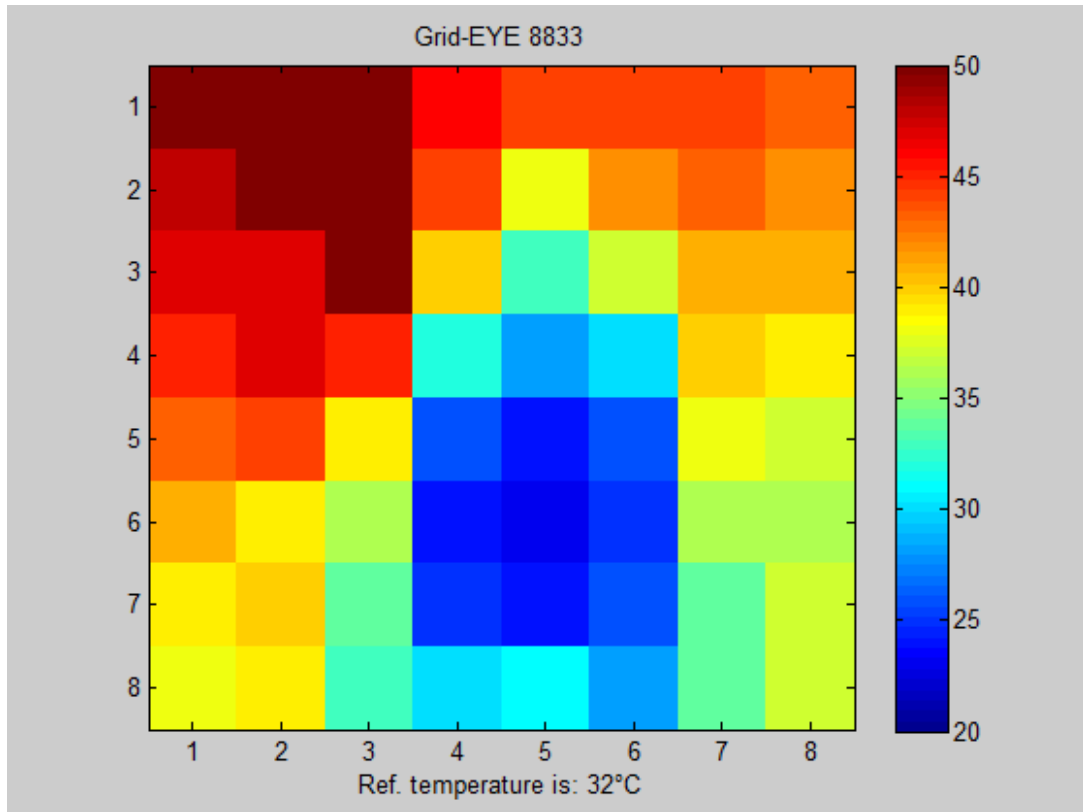
Čas (min)	Teplota osoby Fantóm (°C)	Teplota vnútri vozidla (°C)	Teplota vonku (°C)	Teplota vnútri diagnostika (°C)	Teplota vonku diagnostika (°C)	Snímač teploty DS18B20 vonku (°C)
13:43	9,7	22	22,8	28	46	29
13:46	9,8	22,9	22,6	29	46	30
13:49	10,1	24,1	22,3	31	45	30
13:52	10,5	25,6	22,3	34	43,5	30
13:55	11	26,7	22,3	36	43	31
13:58	11,7	28,2	22	38	41	31
14:01	14,6	29,3	24,7	39	39	31
14:04	15,3	30,4	24,7	40	35,5	31
14:07	15,8	31,5	24,4	41	35,5	32
14:10	16,2	32,1	24,4	42	36,5	32
14:13	16,8	33	24,4	43	37,5	32
14:16	17,2	33,8	24,1	43	38	32
14:19	17,8	34,5	24,1	44	38,5	32
14:22	18,2	35,2	24,1	45	38,5	32
14:25	18,9	36,2	24,1	46	37,5	31
14:28	19,3	36,7	24,4	46	37,5	31
14:31	20	37	25	47	37,5	31
14:34	20,5	37,8	25,6	47	36	31
14:37	21,2	38,5	26,2	47	37	32
14:40	21,7	39,2	26,9	48	36,5	32
14:43	22,5	40	27,2	48	37	32
14:46	23	40,8	27,5	48	36,5	32
14:49	23,6	41,2	27,5	49	34	32



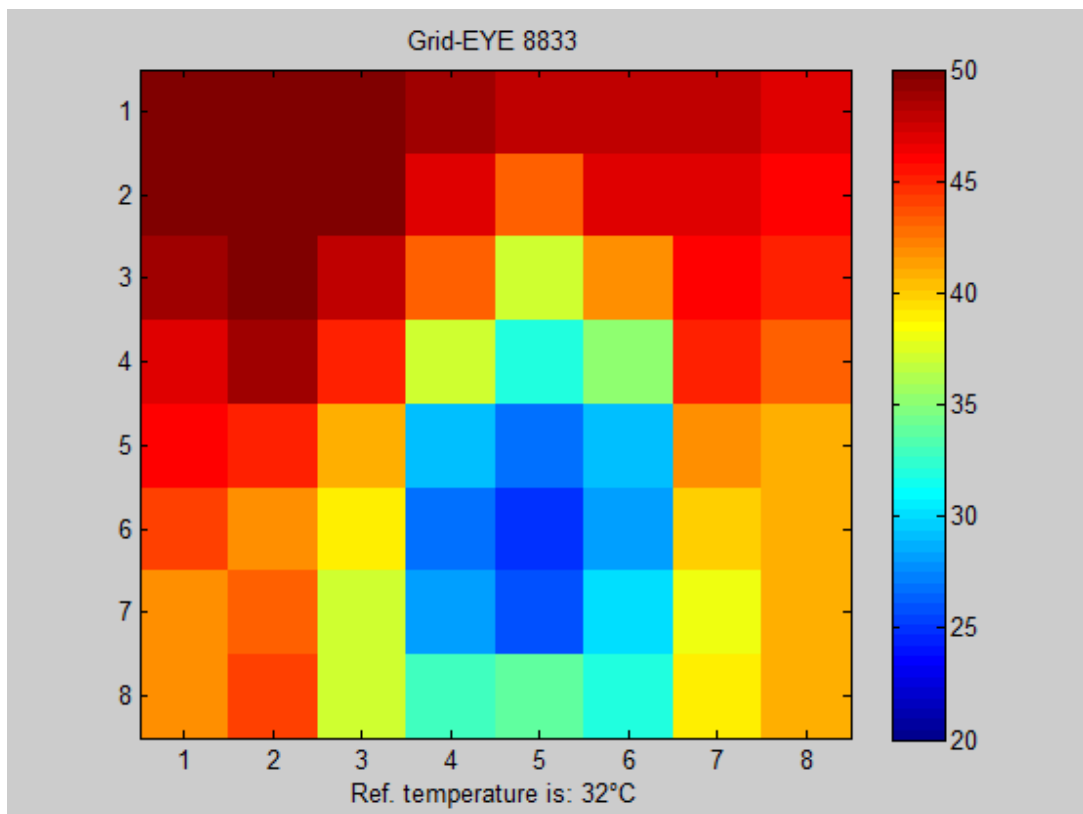
Obrázok 52: Graf merania č.1



Obrázok 53: Meranie č.1, začiatok merania o 13:43



Obrázok 54: Meranie č.1 o 14:13



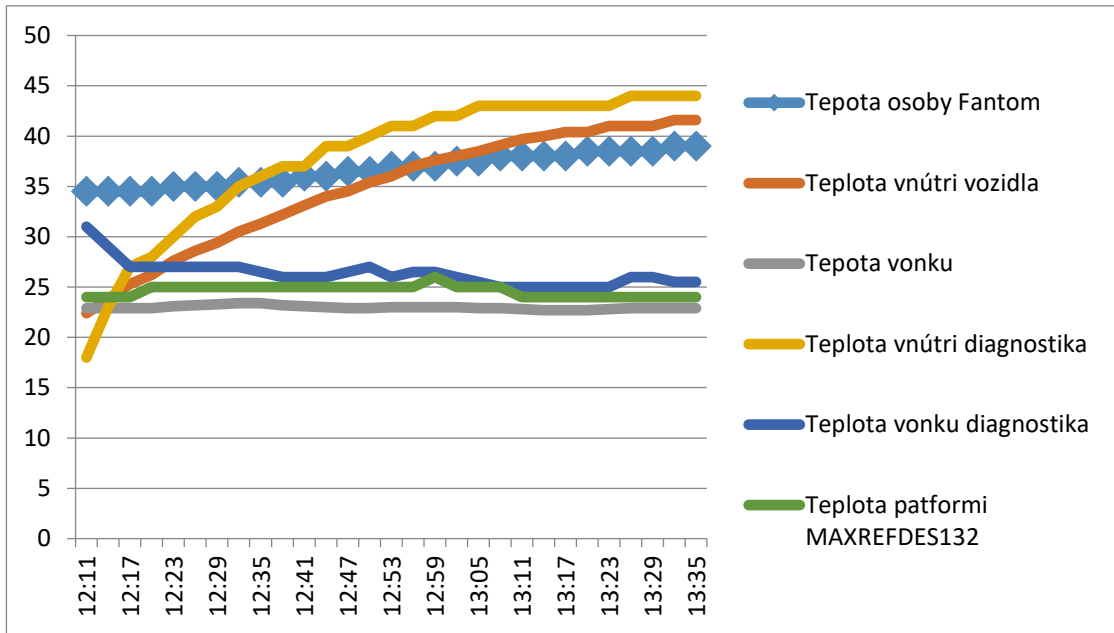
Obrázok 55: Meranie č.1, koniec merania o 14:50

3.3 Meranie č. 2

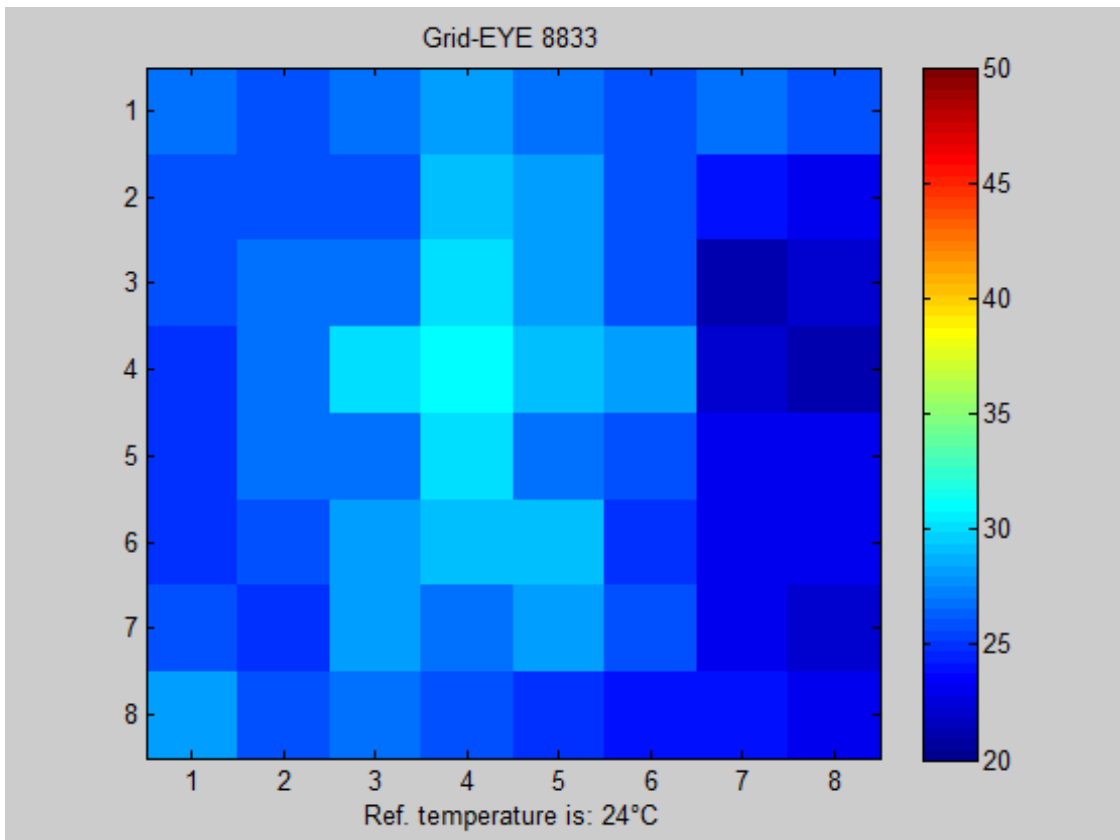
Meranie sme robili v rodinnom dome v Rajci dňa 10.5.2020 počas slnečného dňa, kedy počasie na internete uvádzalo teplotu 22 - 23 °C a fúkal slabý vietor. Fantóma sme naplnili vodou s teplotou 34,5 °C, ktorá sa približuje teplote ľudského tela, a tak možno na údajoch v tabuľke 4 vidieť, ako táto teplota stúpa.

Tabuľka 4: Meranie č. 2

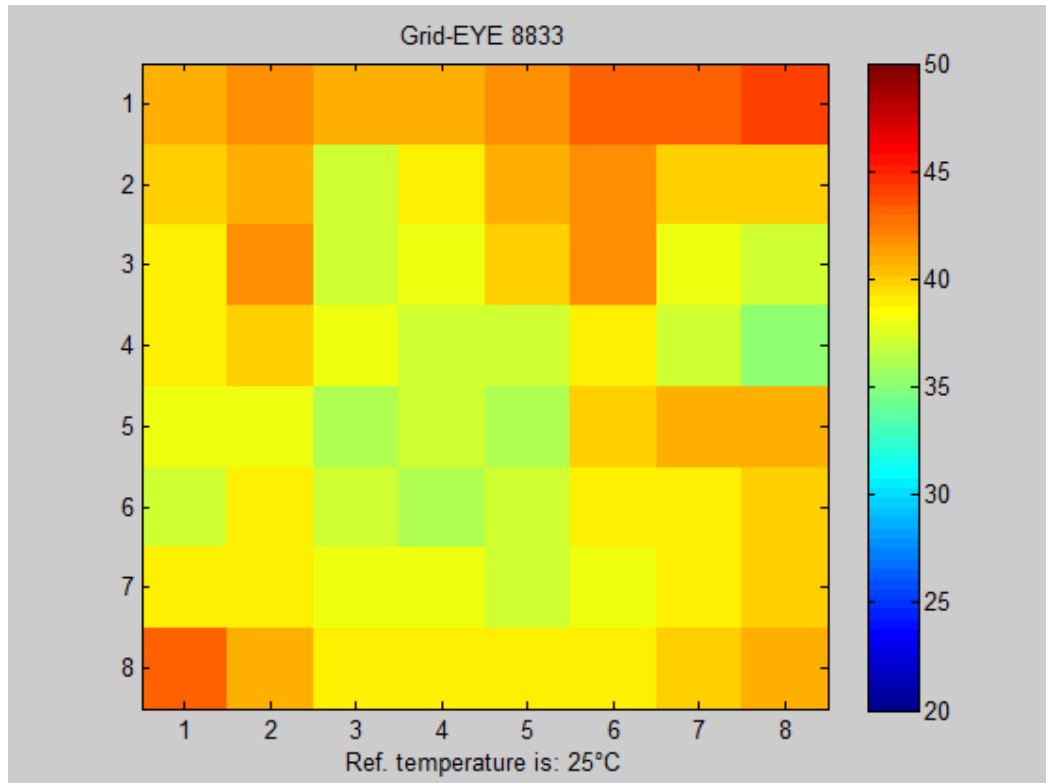
Čas (min)	Teplota osoby Fantóm (°C)	Teplota vnútri vozidla (°C)	Teplota vonku (°C)	Teplota vnútri diagnostika (°C)	Teplota vonku diagnostika (°C)	Snímač teploty DS18B20 vonku (°C)
12:11	34,5	22,4	22,9	18	31	24
12:14	34,5	23,8	22,9	23	29	24
12:17	34,5	25,3	22,9	27	27	24
12:20	34,5	26,2	22,9	28	27	25
12:23	35	27,6	23,1	30	27	25
12:26	35	28,6	23,2	32	27	25
12:29	35	29,4	23,3	33	27	25
12:32	35,4	30,5	23,4	35	27	25
12:35	35,4	31,3	23,4	36	26,5	25
12:38	35,4	32,2	23,2	37	26	25
12:41	36	33,1	23,1	37	26	25
12:44	36	34	23	39	26	25
12:47	36,5	34,5	22,9	39	26,5	25
12:50	36,5	35,4	22,9	40	27	25
12:53	37	36	23	41	26	25
12:56	37	37	23	41	26,5	25
12:59	37	37,6	23	42	26,5	26
13:02	37,5	38	23	42	26	25
13:05	37,5	38,5	22,9	43	25,5	25
13:08	38	39,1	22,9	43	25	25
13:11	38	39,7	22,8	43	25	24
13:14	38	40	22,7	43	25	24
13:17	38	40,4	22,7	43	25	24
13:20	38,5	40,4	22,7	43	25	24
13:23	38,5	41	22,8	43	25	24
13:26	38,5	41	22,9	44	26	24
13:29	38,5	41	22,9	44	26	24
13:32	39	41,6	22,9	44	25,5	24
13:35	39	41,6	22,9	44	25,5	24



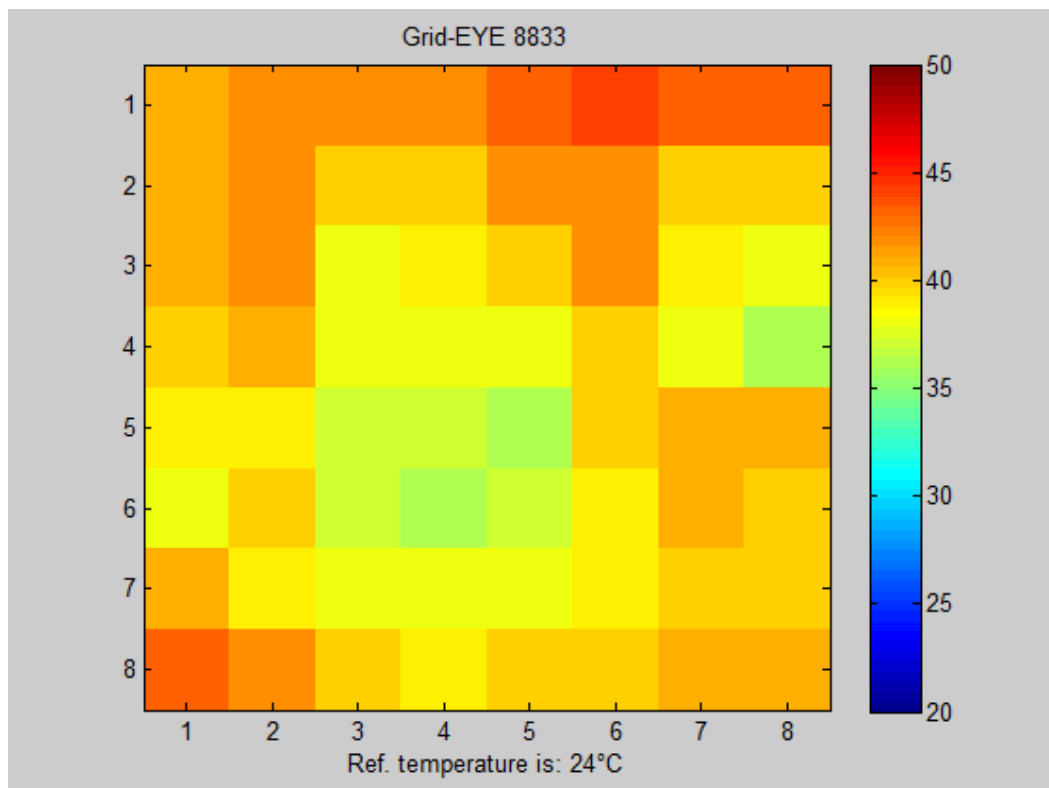
Obrázok 56: Graf merania č. 2



Obrázok 57: Meranie č. 2, začiatok merania o 12:09 - auto je ešte naštartované a beží klimatizácia



Obrázok 58: Meranie č.2 o 12:55



Obrázok 59: Meranie č. 2, koniec merania o 13:35

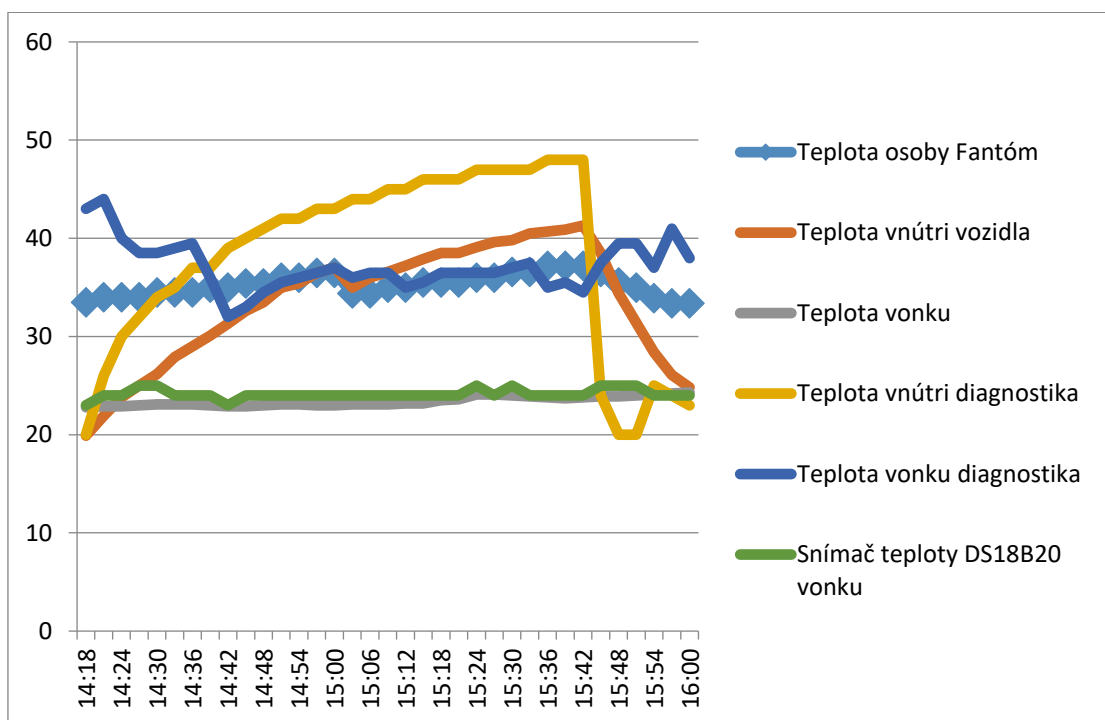
3.4 Meranie č. 3

Meranie sme robili v rodinnom dome v Rajci dňa 18.5.2020 počas slnečného dňa, kedy počasie na internete uvádzalo teplotu 22 °C a fúkal slabý vietor zo západu rýchlosťou 5 km/h, UV index bol 7, čo je vysoká hodnota a vlhkosť bola 20%. Fantóma sme naplnili vodou s teplotou 33,5 °C, ktorá sa približuje teplote ľudského tela, a tak možno na údajoch v tabuľke 5 vidieť, ako táto teplota stúpa. Jediný pokles teploty - skôr ako sa vozidlo otvorilo - je v čase 15:03 a to preto, že digitálny teplomer Auriol IAN 291520 sa na začiatku každej hodiny vždy automaticky nanovo kalibruje.

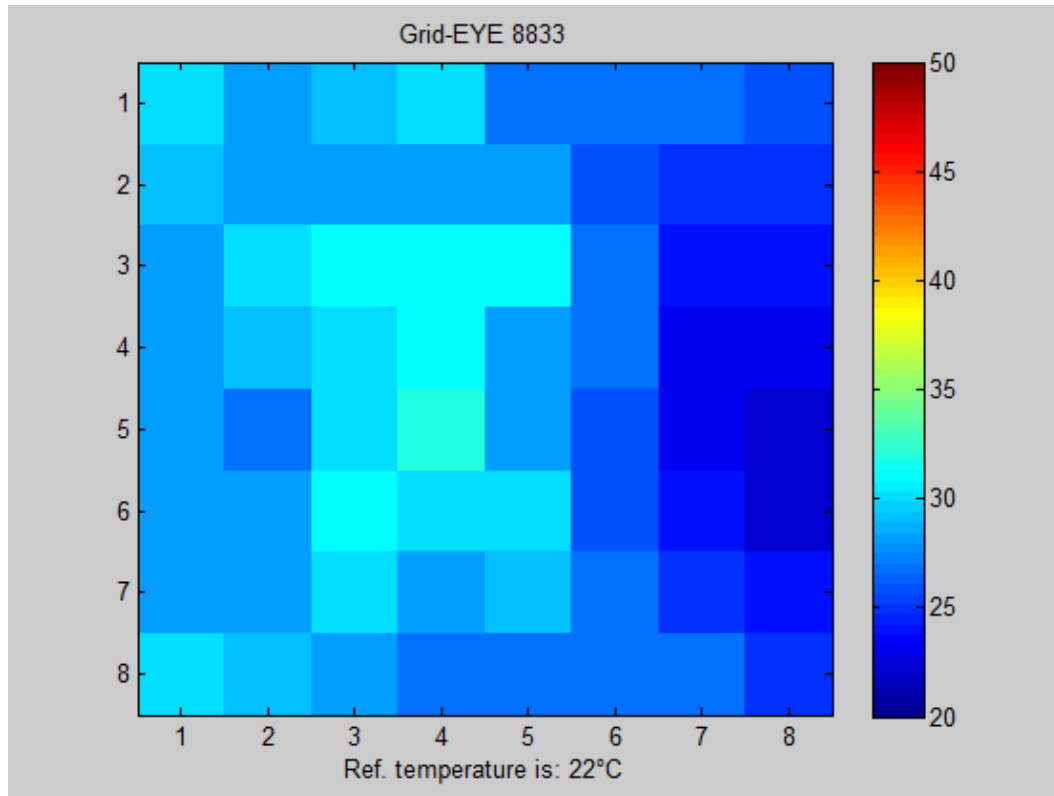
Tabuľka 5: Meranie č. 3

Čas (min)	Teplota osoby Fantóm (°C)	Teplota vnútri vozidla (°C)	Teplota vonku (°C)	Teplota vnútri diagnostika (°C)	Teplota vonku diagnostika (°C)	Snímač teploty DS18B20 vonku (°C)
14:18	33,5	19,9	22,8	20	43	23
14:21	34	21,9	22,9	26	44	24
14:24	34	23,8	22,9	30	40	24
14:27	34	25	23	32	38,5	25
14:30	34,5	26,2	23,1	34	38,5	25
14:33	34,5	27,9	23,1	35	39	24
14:36	34,5	29	23,1	37	39,5	24
14:39	35	30,1	23	37	36	24
14:42	35	31,3	22,9	39	32	23
14:45	35,4	32,6	22,9	40	33	24
14:48	35,4	33,5	23	41	34,5	24
14:51	36	35	23,1	42	35,5	24
14:54	36	35,4	23,1	42	36	24
14:57	36,5	36,5	23	43	36,5	24
15:00	36,5	37	23	43	37	24
15:03	34,4	35	23,1	44	36	24
15:06	34,4	36	23,1	44	36,5	24
15:09	35	36,6	23,1	45	36,5	24
15:12	35	37,2	23,2	45	35	24
15:15	35,5	37,9	23,2	46	35,5	24
15:18	35,5	38,5	23,5	46	36,5	24
15:21	35,5	38,5	23,6	46	36,5	24
15:24	36	39,1	24,1	47	36,5	25
15:27	36	39,6	24,1	47	36,5	24

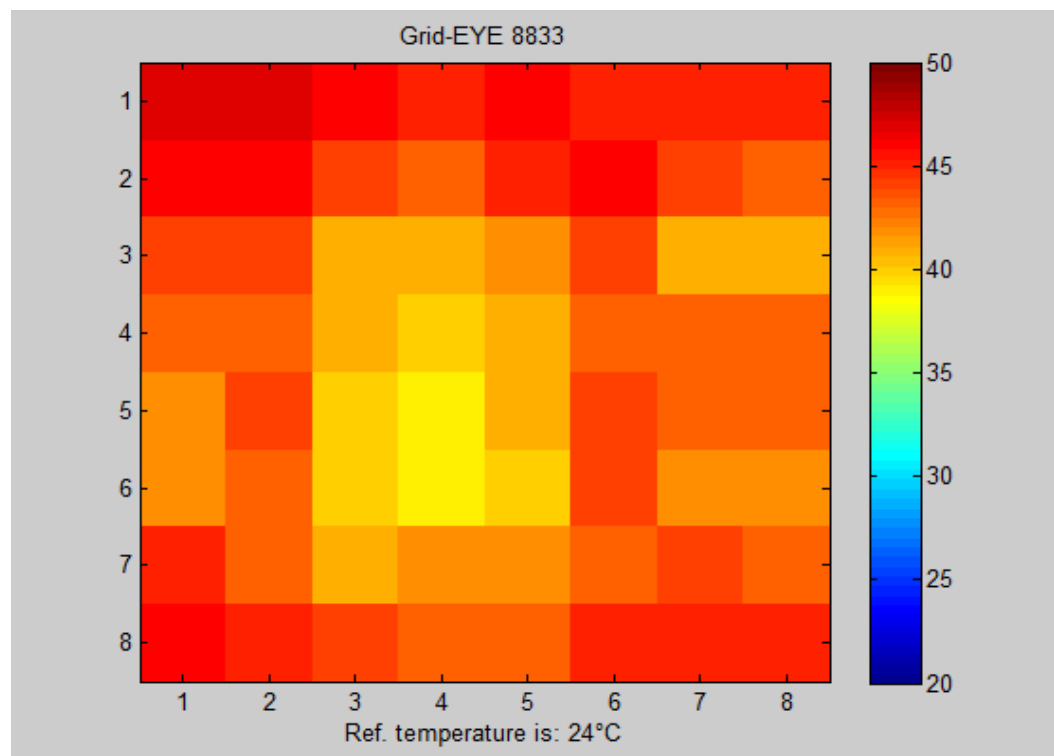
15:30	36,6	39,8	24	47	37	25
15:33	36,6	40,5	23,9	47	37,5	24
15:36	37,2	40,7	23,8	48	35	24
15:39	37,2	40,9	23,7	48	35,5	24
15:42	37,2	41,3	23,8	48	34,5	24
Otvorenie okien, naštartovanie vozidla a pustenie vetrákov na chladenie.						
15:45	36,6	38,5	23,9	24	37,5	25
15:48	35,5	34,4	23,9	20	39,5	25
15:51	35	31,4	24	20	39,5	25
Zatvorenie okien a pustená klimatizácia vo vozidle.						
15:54	33,9	28,4	24,1	25	37	24
15:57	33,4	26,1	24,2	24	41	24
16:00	33,4	24,8	24,3	23	38	24



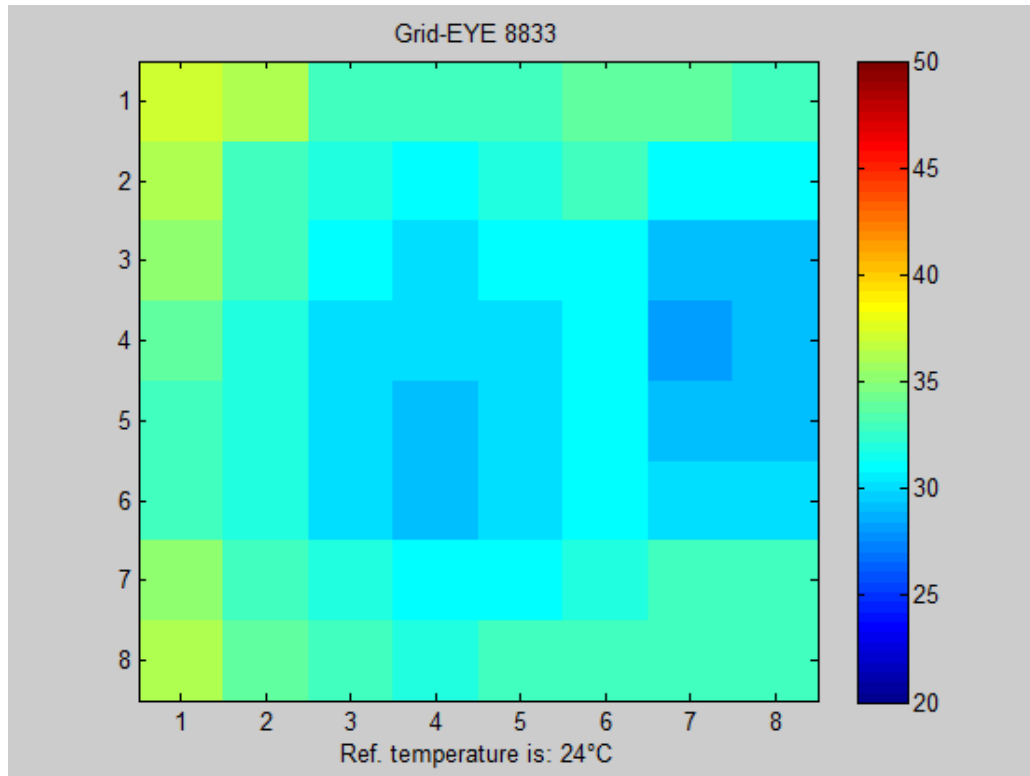
Obrázok 60: Graf merania č. 3



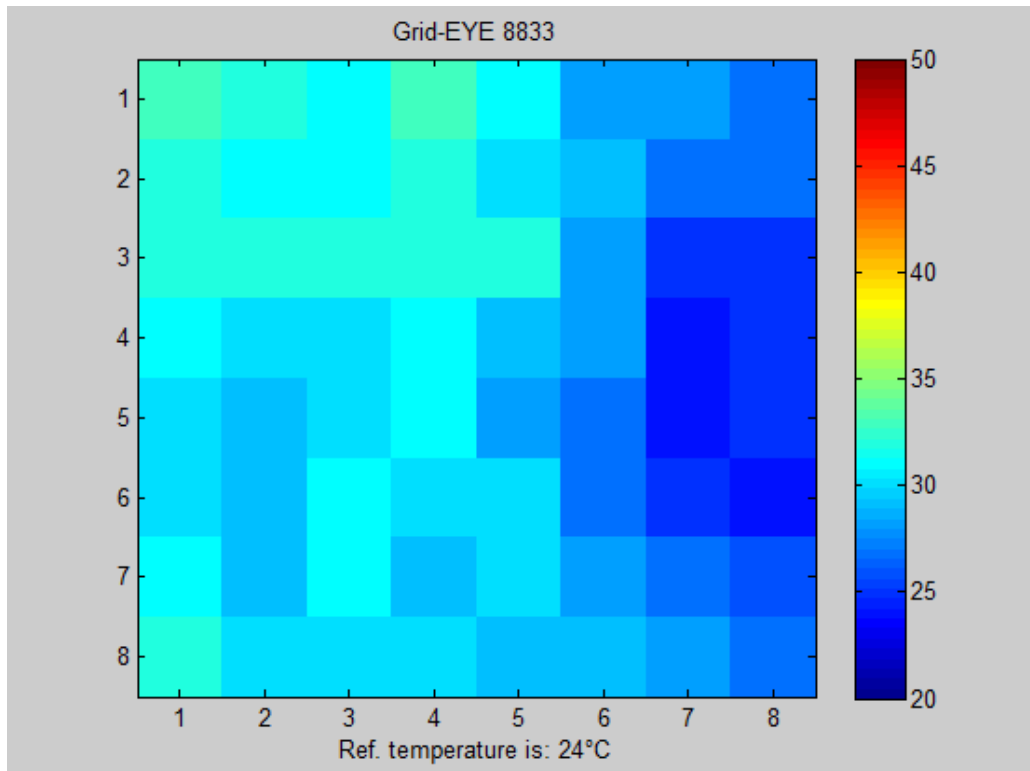
Obrázok 61: Meranie č. 3, začiatok merania o 14:17 - auto je naštartované a beží klimatizácia



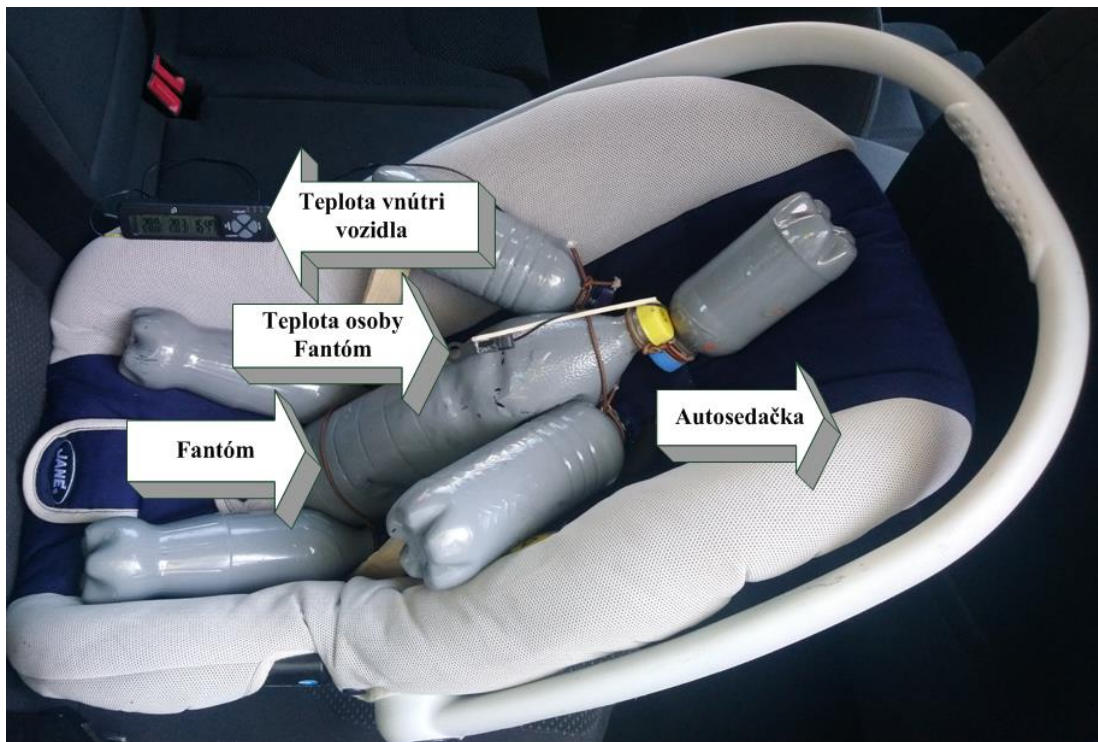
Obrázok 62: Meranie č. 3, koniec merania o 15:42 - tesne pred otvorením vozidla



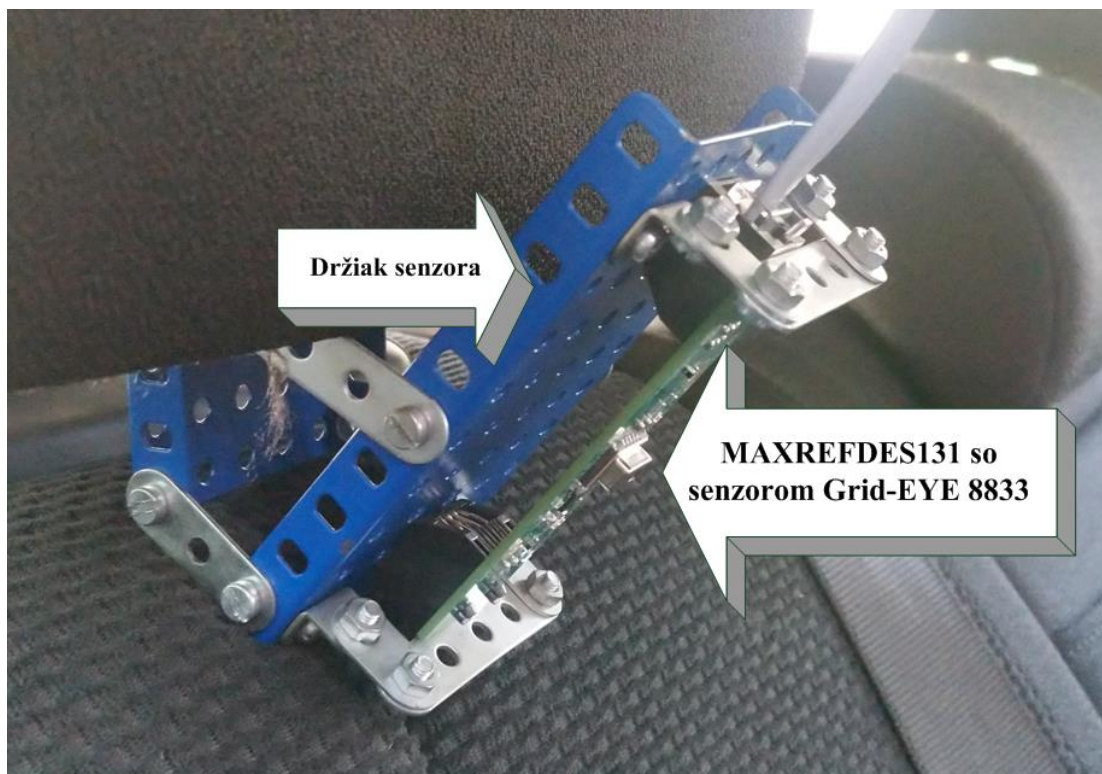
Obrázok 63: Meranie č. 3, po ukončení merania o 15:44 - pár sekúnd po tom, čo sa vozidlo otvorilo a začalo chladnúť



Obrázok 64: Meranie č. 3, po ukončení merania o 15:59 - vozidlo je zatvorené a beží klimatizácia



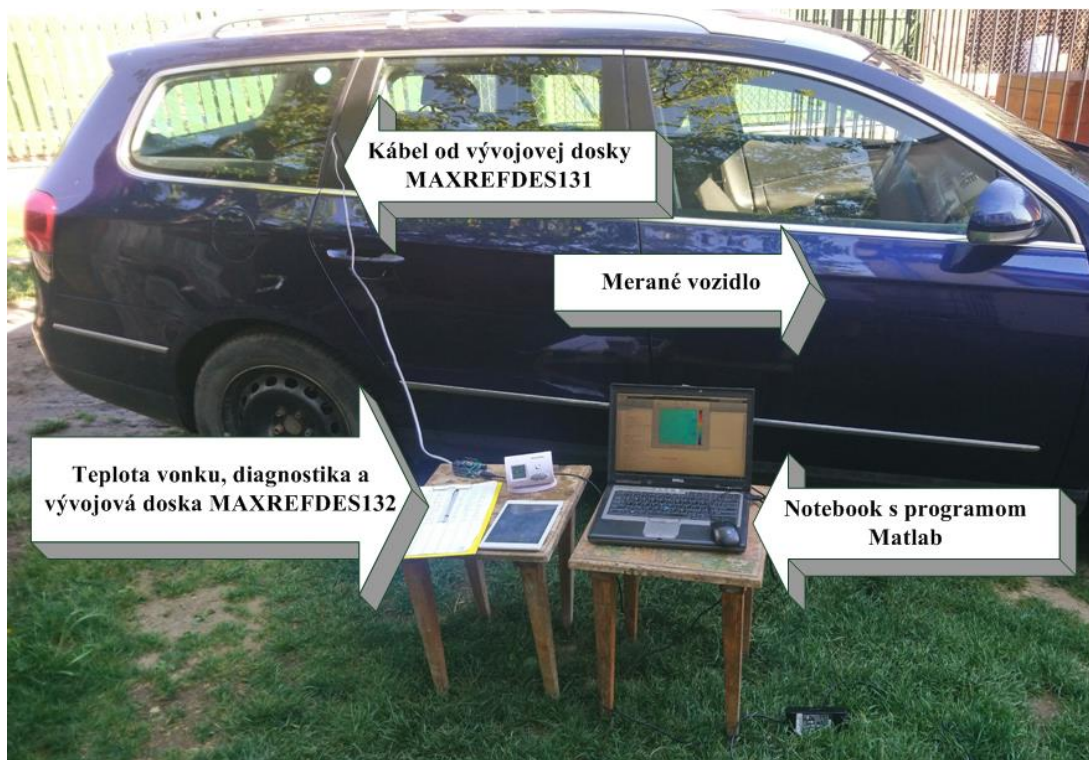
Obrázok 65: Obrázok z merania



Obrázok 66: Obrázok z merania



Obrázok 67: Obrázok z merania



Obrázok 68: Obrázok z merania

3.5 Popis etáp vývoja softvéru

- Ako prvé sme spojili vývojové dosky MAXREFDES132, MAXREFDES131 a Arduino UNO.
- Potom sme k vývojovej doske MAXREFDES132 pripojili teplomer DS18B20.
- Ďalej sme pomocou programovacieho prostredia Arduino našli knižnice ku všetkým súčiastkam a vyhotovili program (Príloha č. 2). Kompletný program sa nachádza v elektronickej prílohe č. 1.
- Po nájdení knižníc sme napísali program, ktorý dáta zo senzora Grid-EYE a teplomera DS18B20 posiela v digitálnej forme do notebooku, v ktorom je program Matlab.
- V Matlabe sme napísali program, ktorý nám priatu maticu 8x8 s hodnotami teplôt vykreslil farebne a tiež zapísal hodnoty teplomera (Príloha č. 1).
- Program snímkuje každé 2 sekundy.
- Program je napísaný tak, že rozsah hodnôt sa dá nastaviť tak, aby nám obraz čo najviac vyhovoval.

3.6 Diskusia k praktickej časti

V tretej časti diplomovej práce sme okrem funkčného demonštračného vzoru robili aj merania, kde sme nechali v zatvorenom vozidle Fantóma sediaceho v autosedačke. Vozidlo sme zaparkovali na slnku v strede dvora a nechali sme ho vychladiť pomocou klimatizácie, aj keď po zime klimatizácia nefungovala na 100%, tak vozidlo vychladila na teplotu 19-20 °C.

Pred vypnutím vozidla sme nainštalovali ešte teplomery a demonštračný vzor, ktorým bola vývojová doska MAXREFDES131 pripevnená na držiaku zo stavebnice Merkúr. Po vypnutí vozidla a klimatizácie sme vozidlo zatvorili a začali sme meranie, ktoré trvalo viac ako hodinu. Počas merania sme zapisovali každé tri minúty hodnoty teplôt vo vnútri, vonku a teplotu Fantóma. Samozrejme sme robili počas celého merania print screen obrazovky notebooku, na ktorom bežal program v Matlabe, ktorý vytváral tepelný obraz 8x8 Fantóma sediaceho vo vozidle.

Z merania sme zistili, že pri určitej teplote sa telo na tepelnom obraze stráca, a to vtedy, keď má rovnakú teplotu ako okolie. Týmto zistením vznikla otázka, či dokáže asistenčný systém Car-e-Baby pracovať stále na 100%, pretože ak by sa spoliehal len na infračervený senzor, tak by mohla vzniknúť situácia, kedy by bolo dieťa pre senzor doslova neviditeľné. Preto je veľmi dôležité, aby asistenčný systém Car-e-Baby prijímal informácie od väčšieho množstva snímačov.

Pri meraní č. 3 sme pred skončením merania otvorili okná a naštartovali auto, kde sme zapli klimatizáciu a po deviatich minútach sme zatvorili okná a nechali bežať len klimatizáciu. Z tohto experimentu sme zistili ako malo stačí na to, aby sa vo vozidle teplota znížila na teplotu, ktorá nie je pre život nebezpečná.

Bolo by užitočné venovať sa spracovaniu obrazu, nakoľko je tepelná diferenciacia malá pri vysokej teplote vo vozidle a Fantóme. Bolo by užitočné tieto podmienky simulovať a zlepšiť odstup signál šum. Všetky fotky a obrázky z meraní sa nachádzajú v elektronických prílohách č.2 – č.5.

Záver

Táto diplomová práca s názvom „Infračervená kamera pre zariadenie zabudnutia detí v aute“ je vo svete, kde autá a elektronika v autách pribúdajú veľmi rýchlo, dosť dôležitá, pretože čím viac vozidiel, tým je väčšie riziko, že niekto v aute dieťa alebo zviera zabudne.

V prvej - teoretickej časti diplomovej práce sme mali za úlohu opis aktuálneho stavu problematiky, a tak sme sa zaoberali historickou štatistikou zabudnutých detí v aute. Potom sme uviedli pár informácií o termokamerách a o senzore Grid-EYE 8833. Ďalej sme v tejto časti napísali niečo o vybraných vlastnostiach použitého infračerveného senzora a termokamier a tiež o asistenčných systémoch, ktoré sa takisto snažia predísť zabudnutiu dieťaťa v aute, a ktoré sa do vozidiel už montujú alebo ich niekto testuje.

Druhá časť diplomovej práce bola systémová analýza systému Car-e-Baby, a tak sme v tejto časti opísali, ako by mohol asistenčný systém Car-e-Baby fungovať, čo všetko k tomu potrebujeme, aby čo najefektívnejšie pracoval a to znamená, že musí byť spoľahlivý na 100%.

Tretou úlohou diplomovej práce bol návrh a realizácia demonštračného vzoru zariadenia a jeho overenie v praxi, čo sme pomocou súčiastok zapožičaných od školiteľa diplomovej práce naplnili. Pomocou meraní na vozidle, ktoré slnko zahrievalo a snímaním figuríny, ktorú som nazval Fantóm, sme overili funkčnosť demonštračného vzoru, a tak sa domnievame, že hlavný cieľ práce a aj čiastkové ciele práce boli naplnené.

Diplomová práca a jej elektronické prílohy sú na priloženom DVD a nachádzajú sa aj na Google Drive:

<https://drive.google.com/drive/folders/1utr-rsZVGwtKDnoT5NsZE725TqFGu2kn?usp=sharing>

Bibliografia

LastMinuteEngineers. 2018. [Online] 2. 2 2018. [Dátum: 2. 5 2020.]
<https://lastminuteengineers.com/ds18b20-arduino-tutorial/>.

2019 © FLIR® Systems, Inc. 2019.
<https://www.flir.com/discover/professional-tools/what-is-msx/>. [Online] 2019 © FLIR
® Systems, Inc., 24. 6 2019. [Dátum: 4. 4 2020.]
<https://www.flir.com/discover/professional-tools/what-is-msx/>.

Arduino. 2018. [Online] 5. 5 2018. [Dátum: 2. 5 2020.]
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3-smd>.

Auriol. 2020. [Online] 2020. [Dátum: 16. 5 2020.]
<https://www.skrblik.cz/lidl/digitalni-teplomer-auriol/>.

Copyright 2020 IEEE Spectrum. 2019. [Online] Copyright 2020 IEEE
Spectrum, 7. 6 2019. [Dátum: 1. 4 2020.] <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/sensors/vayyar-promises-a-radar-for-inside-the-car-as-well-as-outside-it>.

Coxworth, Ben. 2018. <https://newatlas.com/paytons-charm-child-hot-car-alert/57513/>. [Online] New Atlas, 4. 12 2018. [Dátum: 3. 4 2020.]
<https://newatlas.com/paytons-charm-child-hot-car-alert/57513/>.

Farnell. 2019. [Online] 12. 6 2019. [Dátum: 30. 4 2020.]
<https://sk.farnell.com/maxim-integrated-products/maxrefdes131/eval-board-grid-eye-sensor/dp/2696636?st=grideye>.

FLIR® Systems, Inc. 2019. [Online] FLIR® Systems, Inc., 2019. [Dátum: 10. 3 2020.] <https://www.flir.com/about/about-flir/>.

GMC. 2018. <https://www.gmc.com/gmc-life/suvs/acadia-rear-seat-reminder>. [Online] GMC, 1. 1 2018. [Dátum: 8. 4 2020.] <https://www.gmc.com/gmc-life/suvs/acadia-rear-seat-reminder>.

Holmes, Jake. 2018. <https://www.cnet.com/roadshow/news/nissan-altima-sentra-rogue-rear-door-alert/>. [Online] 30. 7 2018. [Dátum: 8. 4 2020.]
<https://www.cnet.com/roadshow/news/nissan-altima-sentra-rogue-rear-door-alert/>.

Hubinský, René. 2018. <https://www.pcrevue.sk/a/Asistencne-systemy-vozidiel---1-cast>. [Online] Nextech, 28. 12 2018. [Dátum: 4. 4 2020.]
<https://www.pcrevue.sk/a/Asistencne-systemy-vozidiel---1-cast>.

iCarScan VCI . 2020. [Online] 5. 5 2020. [Dátum: 18. 5 2020.]
<http://www.x431tool.com/wholesale/icarscan-diagnostic-tool.html>.

Inst Tools. 2019. <https://instrumentationtools.com/thermopile-working-principle/>. [Online] 5. 6 2019. [Dátum: 30. 4 2020.]
<https://instrumentationtools.com/thermopile-working-principle/>.

Jan Null, CCM. 2020. <https://www.noheatstroke.org/>. [Online] Department of Meteorology & Climate Science, 14. 2 2020. [Dátum: 20. 2 2020.]
<https://www.noheatstroke.org/>.

Jozef Vydra. 2018. [Online] sciencedaily.com, eurekaalert.org, 1. 6 2018. [Dátum: 15. 2 2020.] <https://podkapotou.zoznam.sk/cl/1000618/1713671/Iba-hodina-v-aute-na-slnku-a-vysledkom-je-smrt-z-tepla->.

Karpat, Michal. 2018. <https://autozurnal.ta3.com/hyundai-santa-fe-zabudnute-dieta-v-aute>. [Online] AUTOŽURNÁL, 23. 11 2018. [Dátum: 4. 4 2020.]
<https://autozurnal.ta3.com/hyundai-santa-fe-zabudnute-dieta-v-aute>.

KurenieZen. 2020. [Online] 5. 5 2020. [Dátum: 16. 5 2020.]
<https://www.kureniezen.sk/kurenie/eshop/10-1-Komponenty-vykurovania/501-2-Termostaty/5/5724-Bezdrotovy-termostat-COMPUTHERM-Q3-RF>.

m:zone.s.r.o. <https://www.mzone.sk/flir-one-flir-one-2-for-ios-thermal-imaging-camera-435-0004-03-sp-11889>. [Online] Copyright © 1996 - 2020 m:zone.s.r.o.

Maxim Integrated. 2019. [Online] 5. 5 2019. [Dátum: 2. 5 2020.]
<https://www.maximintegrated.com/en/design/reference-design-center/system-board/6331.html>.

—. **2019.** [Online] 6. 5 2019. [Dátum: 2. 5 2020.]
<https://www.maximintegrated.com/en/design/reference-design-center/system-board/6304.html>.

Melexis, Copyright © 2019. 2019.

<https://www.melexis.com/en/product/mlx90640/far-infrared-thermal-sensor-array#>.

[Online] Copyright © 2019 Melexis, 2019.

MoviTherm. 2018. [Online] MoviTherm, 15540 Rockfield Blvd, Suite C-110, Irvine, CA 92618, 2018. [Dátum: 10. 3 2020.]

<https://movitherm.com/knowledgebase/netd-thermal-camera/>.

—. **2018.** [Online] MoviTherm, 15540 Rockfield Blvd, Suite C-110, Irvine, CA 92618, 2018. [Dátum: 11. 3 2020.] <https://movitherm.com/knowledgebase/what-is-emissivity/>.

NEW EFFECT, s. r. o. 2020. <https://www.neweffect.sk/historia-a-fungovanie-termovizie/>. [Online] NEW EFFECT, s. r. o., 2020.

Panasonic Industry. 2019. [Online] 15. 8 2019. [Dátum: 30. 4 2020.]

<https://eu.industrial.panasonic.com/products/sensors-optical-devices/sensors-automotive-and-industrial-applications/infrared-array/series/grid-eye-old-type/ADI8010?reset=1>.

—. **2019.** [Online] 15. 10 2019. [Dátum: 30. 4 2020.]

<https://eu.industrial.panasonic.com/products/sensors-optical-devices/sensors-automotive-and-industrial-applications/infrared-array/series/grid-eye-high-performance-type/ADI8011?reset=1>.

Panasonic Industry, Europe. 2020. [Online] Panasonic Industry Europe GmbH, 20. 2 2020. [Dátum: 20. 2 2020.]

<https://eu.industrial.panasonic.com/products/sensors-optical-devices/sensors-automotive-and-industrial-applications/infrared-array>.

Texas Instruments Incorporated. 2018. [Online] Texas Instruments Incorporated, 30. 4 2018. [Dátum: 3. 4 2020.]

http://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/archive/2018/04/30/detecting-vehicle-occupancy-with-mmwave-sensors.

ÚAMK. 2017. [Online] 7. 6 2017. [Dátum: 25. 2 2020.]
<https://www.pluska.sk/fotogaleria-glanc/?foto=snimka-obrazovky-2017-06-06-o-17.37.45.png&clanok=1045973>.

VASEK, JURAJ. 2016. <https://fontech.startitup.sk/recenzia-cat-s60/>. [Online]
Copyright© 2020 by Startitup, s. r. o., 25. 9 2016. [Dátum: 20. 2 2020.]
<https://fontech.startitup.sk/recenzia-cat-s60/>.

Vayyar Imaging. 2020. <https://vayyar.com/auto>. [Online] Vayyar Imaging, 3.
2 2020. [Dátum: 2. 4 2020.] <https://vayyar.com/auto>.

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som zadanú diplomovú prácu vypracoval samostatne, pod odborným vedením pána vedúceho diplomovej práce, doc. RNDr. Juraja Pančíka, CSc. a používal som len literatúru uvedenú v práci.

Súhlasím so zapožičiavaním diplomovej práce.

V Žiline dňa 5.5.2020

vlastnoručný podpis



Zoznam príloh

Príloha č.1.....	2
Príloha č. 2.....	3

Príloha č. 1

Zdrojový kód program pre termokameru (platforma MATLAB)

```
1. clear all;
2. clc;
3. reftemp=[];
4. teplota=[];
5. teplota1=[];
6. s=serial('COM10','Baudrate',115200,'Timeout',10);
7. fopen(s);
8. k=1;
9. l=1;
10.     figH=figure(1);
11.     while(1)
12.         teplota=fread(s,65,'uint8');
13.         teplota1=[teplota(1:8),teplota(9:16),teplota(17:24),t
            eplota(25:32),teplota(33:40),teplota(41:48),...
            a. teplota(49:56),teplota(57:64)]
14.         reftemp=[teplota(65:65)]
15.         imagesc(teplota1);
16.         title('Grid-EYE 8833')
17.         xlabel(['Ref. temperature is: ', num2str(reftemp),
            '°C'])
18.         h=colorbar;
19.         caxis([20 50])
20.         pause(1);
21.         if ~ishghandle(figH)
22.             a. break
23.         end
24.         fclose(s);
```


Príloha č. 2

Zdrojový kód pre ARDUINO UNO a vývojové dosky MAXREFDES 131 a 132

```
#include <WString.h>
#include "OneWire.h"
#include "OneWireSlave.h"
#include "OWGridEye.h"

using namespace OneWire;
using namespace RomCommands

void print_rom_id(RomId & romId);
void gridEyeFx(OWGridEye & owGridEye);

DS2484 owm;

uint8_t reftemp;

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    OneWireMaster::CmdResult result = owm.begin();
}

void loop() {
    SearchState searchState;

    OneWireMaster::CmdResult result = owm.OWReset();

    if(result == OneWireMaster::Success) {
        result = OWFirst(owm, searchState);

        if(result == OneWireMaster::Success) {
            do {
                print_rom_id(searchState.romId);

                // %%% DS1920

                if(searchState.romId.familyCode() == 0x28) {
                    MultidropRomIterator selector(owm);
                    DS18B20 tempIbutton(selector);
                    tempIbutton.setRomId(searchState.romId);

                    DS18B20::CmdResult tempResult;

                    float ds1920Temp;

                    tempResult = tempIbutton.convertTemperature(ds1920Temp);

                    if(tempResult == DS18B20::Success) {
                    } Else {
                    }
                }
            } while(1);

            // %%% DS18B20

            if(searchState.romId.familyCode() == 0x10) {
                MultidropRomIterator selector(owm);
```

```
        DS1920 tempIbutton(selector);
        tempIbutton.setRomId(searchState.romId);
    DS1920::CmdResult tempResult = DS1920::OpFailure;
        float ds1920Temp;
        tempResult = tempIbutton.convertTemperature(ds1920Temp);
    if(tempResult == DS1920::Success)
    {
        reftemp= ds1920Temp;
    }
    Else
    {
    }
    }
        result = OWNext(owm, searchState);
        while(result == OneWireMaster::Success);
    }
    Else
    {
    }
    }
    Else
    {
    }
}

//%%%%% MAXREFDES131
OneWireMaster::CmdResult owResult;
    MultidropRomIterator selector(owm);
    OWGridEye owGridEye(selector);
    DS2413 owSwitch(selector);
    bool ds2413Found = false;
    bool ds28e17Found = false;
    owResult = owm.OWReset();
    if(owResult == OneWireMaster::Success)
    {
        //Find DS2413
        searchState.findFamily(OWGridEye::DS2413_FAMILY_CODE);
        owResult = OWNext(owm, searchState);
        if(owResult == OneWireMaster::Success)
        {
            print_rom_id(searchState.romId);
            if(searchState.romId.familyCode() == OWGridEye::DS2413_FAMILY_CODE)
            {
                owSwitch.setRomId(searchState.romId);
                owSwitch.pioAccessWriteChAB(2);
                owGridEye.setOWSwitchRomId(searchState.romId);
                ds2413Found = true;
            }
            else
            {
            }
        }
    }
}
}
```

```
        if(ds2413Found && ds28e17Found)    {
gridEyeFx(owGridEye);
        }    Else    {
    }
} else {
}
delay(1);
}

void print_rom_id(RomId & romId) {
    for(uint8_t idx = 0; idx < RomId::byteLen; idx++)    {
        if(romId[idx] < 16)
        {
        }    else    {
    }
}
}

void gridEyeFx(OWGridEye & owGridEye){
    if(owGridEye.connectGridEye() == OWGridEye::Success)    {
delay(100);

        int16_t pixelTemperature[64];
        uint8_t pixelTemperatureF;
        uint8_t idx, idy;

        OWGridEye::CmdResult result =
owGridEye.gridEyeGetFrameTemperature(pixelTemperature);
        if(result == OWGridEye::Success)    {
            for(idx = 0; idx < 8; idx++)    {
                for(idy = 0; idy < 8; idy++)    {
                    pixelTemperatureF = fAMG_PUB_CMN_ConvStoF(pixelTemperature[idx*8 +
idy]);
                Serial.write(pixelTemperatureF);
                    }
            }

                Serial.write(reftemp);
            if(owGridEye.disconnectGridEye() == OWGridEye::Success)    {
        }
        Else    {
    }
}
}
Else    {
}
}
}
```



```
Else    {  
}  
}
```

Zoznam elektronických príloh

Všetky elektronické prílohy sú uvedené v samostatných priečinkoch.

Elektronická príloha č.1.....	DVD
Elektronická príloha č.2.....	DVD
Elektronická príloha č.3.....	DVD
Elektronická príloha č.4.....	DVD
Elektronická príloha č.5.....	DVD
Elektronická príloha č.6.....	DVD