

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

Název práce:	Inteligentní kamera pro kontrolu parkoviště s časovým omezením
Jméno autora:	Bc. David Roubal
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra radioelektroniky (13137)
Oponent práce:	prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Vysoké učení technické v Brně, Ústav radioelektroniky (FEKT)

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce považuji za náročnější a vyváženě kombinuje teoretické znalosti s praktickou realizací (viz také text na str. 2).	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Zadání bylo podle mého názoru splněno a řešení představuje zdařilou experimentální realizaci (viz také text na str. 2).	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Postup řešení je správný, od rešerše a teoretického rozboru přes realizaci a diskuzi výsledku (viz také text na str. 2).	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Odborná úroveň je vysoká a kombinuje teoretické znalosti s prakticky dosaženými výsledky (viz také text na str. 2).	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Formální a jazyková úroveň je vysoká a rozsah práce vyhovuje dokumentaci řešení a výsledků (viz také text na str. 2).	

<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišený od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
Student uvádí až 28 položek použité literatury a referencí, kdy jejich výběr je vhodný a relevantní (viz také text na str. 2).	

<b>Další komentáře a hodnocení</b>	
<i>Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i>	
Předložená diplomová práce představuje teoreticky i prakticky kvalitně zpracovaný inženýrský projekt a podle mého názoru zcela vyhovuje nárokům na absolventa magisterského studia na FEL ČVUT v Praze a jeho budoucí praxi.	

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Úkolem studenta Bc. Davida Roubala bylo navrhnout a realizovat inteligentní systém s bezpečnostní kamerou pro kontrolu parkoviště s časovým omezením parkování. Zadáni konkrétně požadovalo využití ethernetové kamery s uživatelským rozhraním pro konfiguraci parkovacího místa a času pro stání, zpracování obrazu přímo v kameře a výstup telemetrických dat, komunikaci s centrálním serverem pomocí sítě typu LPWAN a vybraného protokolu a ověření činnosti kamery a navrženého systému provozu v reálných podmínkách, včetně diskuze nad vlivem světelných podmínek na přesnost detekce vozidla.

Předložená diplomová práce má rozsah 48 stran včetně použité literatury (28 položek) a jedné přílohy a je psána v českém jazyce. Práce obsahuje 19 původních obrázků a 13 tabulek včetně těch s dosaženými výsledky. Grafické a formální zpracování práce je na velmi dobré úrovni, kdy text obsahuje minimum nepřesností nebo překlepů. Text celé práce pak představuje 2 samostatné kapitoly, kterými jsou teoretická a praktická část. Ty jsou, při hodnocení jejich rozsahu i obsahu vypracování, vyvážené a zcela logicky na sebe navazují.

První teoretická část je nejdříve věnována obecnému využití kamerových systémů pro sledování volné kapacity parkoviště a popisuje postup zpracování obrazu od detekce, přes klasifikaci až k segmentaci obrazu. Jsou zde také srozumitelně vysvětleny systémy deskriptorů a příznaků pro extrakci informací (barva, tvar, textura, klasifikátory apod.). Student se následně zaměřil na dostupné obrazové a datové sady s veřejně dostupnými snímky pro návrh a trénování systému detekce a kontroly obsazenosti a jejich nutné úpravy. Pro komunikaci dále diskutuje a vybírá vhodný hardware kamery, výpočetního zařízení a vhodné nízkoenergetické bezdrátové komunikační sítě LPWAN pro přenos dat na centrální server. Teoretickou část uzavírá i řešením již existujících technických řešení, specifikace jejich snímačů, technických parametrů apod.

Druhá praktická část zahrnuje realizaci implementací kamery pro snímání parkoviště (modul kamery a bezdrátový modul LoRa Ra-02, modul vysílače s Raspberry Pi Zero 2 a přijímače s ESP32), pokračuje webovým rozhraním pro zobrazení dat z parkoviště a popisuje funkce, testování a dosažené výsledky reálného testování. Pro testování byly také využity reálné záznamy z parkoviště v areálu FEL ČVUT v Praze. Student testuje a srovnává metody klasifikace a jejich kombinace, sloučené příznaky deskriptorů a histogramů a testuje světelné podmínky v různé denní dobu a při změně počasí a vyhodnocuje úspěšnost navrženého systému. Závěr diplomové práce uvádí výsledky kontroly délky parkování vozidel. Získaná přesnost celého systému je poměrně vysoká (77 až 92 %) s tím, že logicky mírně klesá se zhoršujícími se světelnými podmínkami.

Závěrem bych rád shrnul, že zadání diplomové práce bylo podle mého názoru splněno. Formální kvalita diplomové práce je na vysoké úrovni a samotné řešení představuje zdařilou experimentální realizaci. Diplomovou práci Bc. Davida Roubala bez jakékoli pochyby doporučuji k obhajobě.

K obhajobě mám následující otázky:

- 1) Vaše výsledky detekce jsou ovlivněny světelnými podmínkami snímání obrazu zvolenou kamerou. Zabýval jste se alespoň teoreticky možností využití systémů s přisvětlováním, nočním viděním apod. Jsou v této oblasti dostupné některé vědecké práce, odborné články, komerční řešení apod?
- 2) V závěru práce naznačujete její možné pokračování v rámci využití pokročilých metod hlubokého učení. Jaké by byly v tomto případě kladeny nároky na hardware a software kamery a mikropočítačových či bezdrátových modulů a zpracování dat? Bylo by nutné vámi navržený systém upgradovat?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 15.6.2023

Podpis: prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.