

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

SYSTÉM PRO DETEKCI VLAKOVÝCH NÁPRAV A JEJICH ČÍSLOVÁNÍ DLE MEZINÁRODNÍ ŽELEZNIČNÍ UNIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR DVOŘÁK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

SYSTÉM PRO DETEKCI VLAKOVÝCH NÁPRAV A JEJICH ČÍSLOVÁNÍ DLE MEZINÁRODNÍ ŽELEZNIČNÍ UNIE

DETECTION OF TRAIN AXLES AND THEIR NUMBERING ACCORDING TO INTERNATIONAL
UNION OF RAILWAYS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR DVOŘÁK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF STRNADEL, Ph.D.

BRNO 2015

Abstrakt

Práce se zabývá vytvořením systému, který by detekoval průjezd vlakového vagónu a očísloval jej dle Mezinárodní železniční unie. Na začátku práce jsou rozebrány využití metody pro správnou detekci průjezdu kola včetně časového záznamu. Také uvádím typy senzorů s jejich vlastnostmi vzhledem k využití na železnici. Rozebírám význam jednotlivých cifer v číslování dle UIC. Vytvářím návrh systému, uvádím jeho zapojení a vztahy mezi jednotlivými podsystémy. Kladu důraz na takové řešení, aby záznam o kole byl za každých okolností včasný a co nejvíce přesný. Využívám k tomu systém pracující v reálném čase. Dále verifikuji samotný měřicí program, abych zajistil celkovou bezchybnost měřícího prvku systému. V následující části popisuji prototyp programu, který zpracovává data z měření. Rozepisuji algoritmy, které jsem využil pro detekci kol a následně vlakových vagónů. V navazující kapitole uvádím způsob práce s externí kamerou pro detekci čísla dle UIC. V posledních kapitolách popisuji testovací prostředí, ve kterých dané řešení bylo otestováno, a shrnuji výsledky testů na reálné vlakové trati.

Abstract

The diploma thesis deals with design and development of the system which detects and numbers train carriages in compliance with International Union of Railways. Firstly, methods for correct detection of passing wheel including time records are analysed. Also, the summary of detection sensors used in railway industry is referred. I analyse meaning of each digit in numbering according to the UIC. The system solution is designed and the interaction and communication with other sub-systems is discussed. I put emphasis on the kind of solution that returns as accurate record as possible under any circumstances. The system operates in real time. Further, the results of measuring program are back-tested in order to verify low-deviation of measuring system component. The following section describes program prototype, which processes the recorded data. The algorithms which I used for the detection of wheel and train carriages are described. In the following chapter I discuss the usage of an external camera detecting the numbers in accordance to the UIC. In the last chapter, I describe the test environment in which the solution has been tested, and summarize the results of tests on a real life railway.

Klíčová slova

Vlak, vlakové kolo, vlaková náprava, senzor, RaspberryPi, Linux, RT systém, POSIX, jáderný modul, realtime aplikace, kamera, číslování dle Mezinárodní železniční unie

Keywords

Train, train wheel, train axle, sensor, RaspberryPi, Linux, RT system, POSIX, kernel module, realtime application, camera, numbering according to International Union of Railways

Citace

Petr Dvořák: Systém pro detekci vlakových náprav a jejich číslování dle Mezinárodní železniční unie, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Systém pro detekci vlakových náprav a jejich číslování dle Mezinárodní železniční unie

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto semestrální práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Strnadela, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Petr Dvořák
22. května 2015

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Josefu Strnadelovi, Ph.D. za vstřícný přístup, ochotu a vlídnou spolupráci. Také bych rád poděkoval panu Ing. Oliveru Blštákovi z firmy Data Deamon s.r.o. za vypůjčení techniky a prostorů.

© Petr Dvořák, 2015.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1 Úvod	3
2 Základní koncept systému	4
3 Realizační prostředky a rozbor řešené problematiky	6
3.1 Senzory	6
3.1.1 Indukční senzory	6
3.1.2 Optické senzory	8
3.1.3 Výběr senzorů	9
3.2 Vestavěný systém a RaspberryPi	10
3.3 Realtime operační systém	10
3.4 Kamera	11
3.5 Číslování dle Mezinárodní železniční unie	12
3.5.1 Kódy způsobilosti pro interoperabilitu (1. a 2. číslice)	14
3.5.2 Země, ve které je vůz registrován (3. a 4. číslice)	14
3.5.3 Technické vlastnosti (5. až 8. číslice)	16
3.5.4 Sériové číslo (9. až 11. číslice)	19
3.5.5 Kontrolní číslice (12. číslice)	19
4 Realizace systému	20
4.1 Zapojení systému	20
4.2 Implementace RT systému	21
4.3 Verifikace RT systému	24
4.4 Prototyp programu pro detekci vlakových náprav	26
4.4.1 Zpracování dat z měřicího systému	26
4.4.2 Detekce kol	28
4.4.3 Detekce náprav	29
4.4.4 Detekce čísla nápravy dle Mezinárodní železniční unie	30
4.4.5 Problém zastavení měření	33
4.4.6 Závěr implementace - zhodnocení	34
5 Vyhodnocení	35
5.1 Prostředí testů	35
5.2 Vyhodnocení reálných testů na trati	37
6 Závěr	45
A Tabulky naměřených dat vlaků	51

B Ukázka projetého vlaku	54
C Návod na ovládání programu	58

Kapitola 1

Úvod

V továrnách, strojním průmyslu, automobilovém mají průmyslové systémy své nenahraditelné místo. Ve všech možných průmyslových odvětvích se pracuje na jejich zdokonalování, aby činnost těchto systémů byla co nejpřesnější a bezchybná. Železniční průmysl není výjimkou. Používají se automatické váhy náprav, informační tabule, moderní světelná signalizace, inteligentní výhybky a jiné.

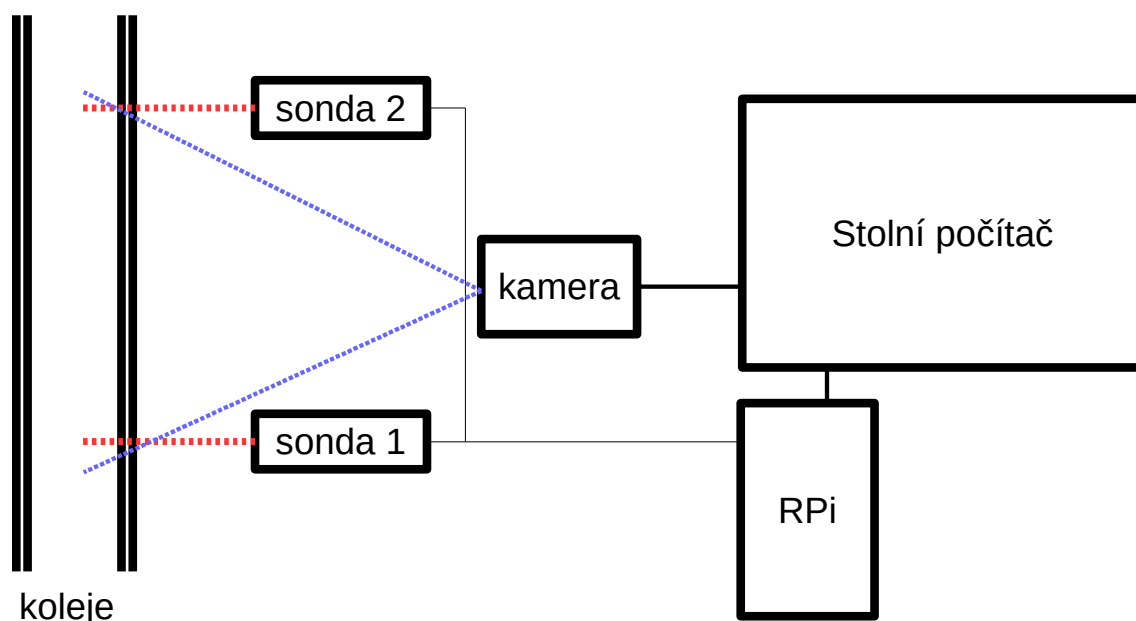
Cílem mé práce je podpořit a rozvíjet automatizaci v železničním průmyslu. Vytvořil jsem průmyslový systém, který napomáhá k automatické detekci počtu kol a vagónů projíždějícího vlaku. Systém ke každému rozpoznanému vagónu přiřazuje číslo dle Mezinárodní železniční unie.

V úvodní části práce definuji pojmy, které v práci využívám a seznamuji čtenáře se základním konceptem systému jako celku, čímž zasazuji řešenou problematiku do kontextu. Dále rozebírám různé typy senzorů a z každé kategorie testuji konkrétní senzor, který by vyhovoval měřicí úloze. V dalších kapitolách se zabývám návrhem a implementací RT systému. RT systém má za úkol sbírat data ze senzorů a zaznamenávat čas příchodu těchto událostí. V další části se věnuji verifikaci takto navrženého a implementovaného systému. Po implementaci RT systému se zabývám návrhem a zpracováním řešení, které zpracovává naměřená data z RT systému. Popisuji implementaci zpracování naměřených dat, detekci kol, vagónů a úpravy algoritmů, které byly zaneseny do implementace z důvodů chyb vyskytujících se na trati při reálném měření. Dále popisuji způsob začlenění kamery, která zaznamenává průjezd vlaku do systému a uvádím princip, pomocí kterého hledám čísla vagónů dle Mezinárodní železniční unie pomocí externího OCR softwaru. V poslední kapitole upřesňuji prostředí, ve kterém probíhaly testy a jejich vyhodnocení. Popisuji jak prostředí laboratoře, tak testování, které proběhlo přímo na trati Břeclav – Přerov. Závěrem uvádím ukázkou zpracovaného vlaku, který byl zaznamenán na trati. Na pořízených obrázcích a grafech ukazují chyby, které nastaly při testování systému a funkčnost systému jako takového.

Kapitola 2

Základní koncept systému

První a velmi důležitou částí práce bylo rozhodnout, jak bude celý systém fungovat, tedy vymyslet celkový koncept. Rozhodl jsem se pro základní dekompozici na jednotlivé podsystémy. Každý podsystém bude plnit příslušnou funkci a bude za ni plně zodpovědný. První podsystém obsluhuje senzory, které jsou napojené na minipočítač RaspberryPi. V tomto minipočítači, který zde plní funkci vestavěného počítače, bude běžet RTOS Linux a program, který zaznamenává data ze sond. Zaznamenaná data z RaspberryPi zpracovává další část systému, která běží na dalším počítači, odděleném od měřicí jednotky. Zapojení podsystémů ilustruje obrázek 2.1.



Obrázek 2.1: Ilustrace základního konceptu zapojení

V konceptu systému počítám i se zapojením kamery, která bude projíždějící vlak snímat. Na základě získaných údajů z měřicího systému a z těchto snímků videa lze najít jednotlivé vagóny. Systém pro každý detekovaný vagón pomocí externího softwaru získá číslo nápravy dle Mezinárodní železniční unie. Získané údaje musí být dostatečně přesné, aby bylo možné vždy toto číslo pro každý vagón najít a také, abych mohl systém spolehlivě

vlak rozdělit na jednotlivé vagóny. V následujících kapitolách nejprve popíši problematiku senzorů a detekčního systému, která mě vedla ke zvolení návrhu řešení. Pak vysvětlím jednotlivé podsystémy a jejich implementaci. V poslední části práce uvedu výsledky, které se mi podařilo dosáhnout pomocí takto zvolených metod.

Kapitola 3

Realizační prostředky a rozbor řešené problematiky

3.1 Senzory

V této kapitole uvedu typy senzorů, které lze využít k průjezdu vlakového kola po trati. Ke každému typu uvedu jeho zástupce, který byl otestován, jeho klady a zápory. Na závěr shrnu důvody pro vybrání konkrétního typu senzoru. Typy senzorů, které jsou vhodné pro detekci objektu:

1. Teplotní senzory
2. Kapacitní senzory
3. Indukční senzory
4. Optické senzory

Teplotní senzory se vyznačují pomalou detekcí přítomnosti libovolných objektů dle jejich teploty a teploty okolí. Kapacitní senzory mají velmi malou měřicí vzdálenost, maximálně pár milimetrů, díky těmto vlastnostem nejsou vhodné pro detekci rychle projíždějícího vlakového kola. Senzor by musel být připevněn ke koleji příliš blízko a kolo, respektive okolek může mít mechanickou vůli a může rozbít, případně poškodit tento senzor. Indukční a optické typy senzorů rozepíši v následujících kapitolách.

3.1.1 Indukční senzory

Indukční senzory či snímače jsou vhodné v situacích, kdy je zapotřebí přesná bezkontaktní detekce kovových objektů. Typické využití najdou ve strojním průmyslu (obráběcí stroje, řízení svářečích robotů, detekce posunu, detekce tloušťky materiálu), v montážních linkách, automobilovém průmyslu, celkově v automatizovaném zařízení. Senzory se vyznačují velkou odolností proti nepříznivým okolním podmínkám, jako je prach, vlhkost, rušení, teplota nebo elektromagnetické záření. Běžný indukční snímač pracuje v posloupnosti tří za sebou zařazených bloků: oscilátor, vyhodnocovací obvody a koncový stupeň. Oscilátor pracuje na principu změny činitele jakosti jádra při přiblížení kovového předmětu. Při změně dojde k útlumu kmitů oscilátoru. Tuto změnu vyhodnotí prahový detektor, který řídí klopný obvod ovládající poslední blok senzoru – koncový stupeň. Podle toho, o jaký druh spínače jde, výstup senzoru buď sepne nebo rozepne při kovovém materiálu v aktivní zóně. Odstraněním

kovového předmětu obnovíme kmity oscilátoru, a tím přepneme zpět do počátečního stavu. Aktivním prvkem indukčních senzorů je cívka, která tvoří oscilující obvod. Čím je fyzický rozměr cívky (a tím i snímače) větší, tím je obvykle i vyšší citlivost snímače (detekční vzdálenost). Současně ale větší snímač pracuje na nižších frekvencích. Z tohoto důvodu je pro detekci rychle se pohybujících objektů vhodnější snímač menší. V následujících krátkých odstavcích shrnu vlastnosti indukčních senzorů, udávané v katalogových listech výrobců:

- Napájecí napětí – Rozsah napětí, kterým je senzor napájen a při kterých je zajištěna jeho správná činnost. Příklad parametru: 10 V DC – 30 V DC.
- Klidový proud – Je to maximální proud, který zařízení odebírá ze zdroje v klidovém stavu. Není v něm započítán odběr výstupu. Příklad parametru: 10mA.
- Hystereze – Hystereze udává vzdálenost mezi bodem, kdy je blížící se objekt detekován a bodem, kdy vzdalující se terč přestane být detekován. Příklad parametru: 1% - 15%.
- Pracovní teplota – Parametr udává rozsah, kdy je zařízení schopno plnit svou činnost bez chyb způsobených okolní teplotou. Příklad parametru: -25°C až +70°C.
- Spínací výstup (typ spínání při detekci kovového předmětu) – Při detekci objektu se zátěž buď připojuje mezi zápornou svorku a vývod (PNP), nebo mezi kladnou svorku a vývod (NPN). Rozlišujeme ještě třetí typ, programovatelné spínání, které podporuje oba z již zmíněných typů (PNP, NPN). Příklad parametru: PNP.
- Elektrické provedení – Existují tři verze provedení, podle počtu vývodů:
 - dvouvodičové provedení - spínaný objekt je přímo napojen na napájecí svorky,
 - tři a čtyřvodičové provedení - spínaný objekt má svůj výstup oddělený od napájecích svorek.
- Mechanické provedení – Vyrábějí se dva typy - válec a kvádr. Rozdílnost spočívá v možnostech upevnění těchto sond bez závitu, popř. se závitem. Kvádrové provedení není obvyklé, využívá se především pro velké snímací dosahy (až 50 mm).
- Snímající vzdálenost – Parametr definuje vzdálenost od čela snímače, ve které při pohybu kovovým objektem snímač změní stav výstupu (dle typu snímače sepne či rozezne). K tomuto parametru se váží tři další parametry (převzato z [1]):
 - S_n - Charakteristická hodnota použitá pro označení snímače.
 - S_r - Dosah zaručený při jmenovitém napájecím napětí a při teplotě okolí 20°C. Od S_n se smí odchýlit maximálně o $\pm 10\%$. Rovnice: $0,9S_n < S_r < 1,1S_n$
 - S_u - Dosah zaručený v celém rozsahu napájecího napětí a okolní teploty. Od S_r se smí odchýlit maximálně o $\pm 10\%$. Rovnice: $0,9S_r < S_u < 1,1S_r$ a zároveň $0,81S_n < S_u < 1,21S_n$
- Frekvence spínání – Udává maximální počet změn stavu snímače za jednotku času. Nutno tento parametr testovat dle normy EN 50010. Příklad parametru: 100 Hz.

Mezi další udávané parametry senzorů patří: rozměry senzoru, rozměry závitu, třída krytí, provedení v kovu, způsob připojení, EMV norma, ochrany proti zkratu, přepólování,

materiál krytu a jiné. Uvedené příklady parametrů vychází z indukčního snímače IM30-40NPS-ZC1 od firmy SICK, který vidíte na obrázku 3.1¹.



Obrázek 3.1: Indukční snímač IM30

Do této kategorie patří speciální senzory nazývané „loop detector“, které také pracují na principu indukce. Využívány jsou zejména na smyčky v silnici pro detekci vozidla, kde se předpokládá kovový podvozek. Tyto smyčky bývají umístěny před, za a pod automatickými závorami, například na parkovištích či při vstupech do areálů. Pracují na stejném principu s tím rozdílem, že namotaná cívka je umístěna externě, například centimetr pod povrchem silnice. Vybraným zástupcem těchto detektorů se stali VEK M2H a VEK M4D od společnosti FEIG Electronic. Indukční snímače, i přes jejich rozsah detekčních vzdáleností v řádech desítek milimetrů, jsou vhodnými kandidáty na detekci vlakového kola. Velkou výhodou je celková odolnost proti prachu, dýmu, vodě a jejich široký rozsah provozních teplot, v rozmezí -40°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Taktéž jsou odolné proti vibračním a elektromagnetickému rušení. Základním principem je detekce kovu, což je výhodné pro vlakové kolo, které z kovu je. Montážně jsou senzory vybaveny dobře. Instalace probíhá pomocí dvou matic. Vzhledem k rozsahu snímačů je nutné uchytit je pod okolek kola, vedle koleje. V této kapitole jsem vycházel z literatury [1], [2] a [3].

3.1.2 Optické senzory

Optické senzory patří mezi nejpoužívanější snímače pro zjištění přítomnosti objektu. Jejich největší výhodou je velký snímací rozsah. Rozsah se může v případě optických závor pohybovat i okolo 50 m. Další jejich vlastnost, která vedla k takovému rozšíření, je umožnění detekce většiny materiálů a také detekce ve vakuu. Rozšíření optických senzorů dokazuje i to, že škála výrobků obrovsky, až několikanásobně, přesahuje počet nabízených výrobků ostatních typů. Mezi další vlastnosti patří možnost detekce jak obrovských, tak malých objektů, snímání pohybujících se předmětů (i s různými teplotami). Senzory mohou sloužit také ke kontrole velikosti předmětu či kontrole naplnění nějakého zásobníku. Jak již název typu senzoru napovídá, optické senzory pracují na principu detekce existence světla (měření intenzity paprsku) dopadajícího na přijímací část senzoru. Senzor obsahuje zdroj paprsku a detektor, které jsou umístěny v jednom pouzdře. Obecně tomu tak nemusí být, ale v práci to budu brát jako předpoklad. Optický senzor měří množství odraženého světla, vyslaného zdrojem, zpět na optický detektor. Konkrétně měří amplitudu nebo světelný výkon a porovnává to s nastaveným prahem. Tento princip umožňuje nejen detekovat přítomnost objektu, ale i měřit vzdálenost či jiné optické parametry jako jsou kontrast či barva. Vlastnosti optických senzorů dle katalogových listů jsou stejné jako u senzorů indukčních, liší se pouze těmito parametry:

- Měřicí rozsah – Pracovní rozsah senzoru, tedy vzdálenost, na kterou snímač reaguje. Příklad parametru: 200 mm až 2000 mm
- Třída laseru – Parametr uvádí výrobní standard třídy laseru. Příklad parametru: 1 (EN 60825-1)

¹Obrázek přejat z: <https://www.mysick.com/saqqara/thumbnaill.aspx?id=im0011427>

- Průměr paprsku (velikost světelné skvrny) – Parametr udává průměr vyzařovaného paprsku v určité vzdálenosti od senzoru. Udává v podstatě minimální rozměry objektu, který je schopný detekovat. Příklad parametru: 20 mm x 20 mm (2 m).
- Reakční doba (doba odezvy výstupu senzoru) – Udává maximální dobu potřebnou ke zpracování změny na výstupu na základě změny vstupu, která je vyvolaná přerušením nebo obnovením paprsku. Příklad parametru: 10 ms

Optické senzory jsou tedy vhodné pro detekci průjezdu kola. Hlavní jejich výhodou je velký měřicí rozsah. Touto vlastností odpadají problémy způsobené jinými typy při montáži. Můžeme je umístit v bezpečné vzdálenosti od kolejí. Uvedené příklady parametrů vychází z indukčního snímače DS30-P1241 od firmy SICK, který vidíte na obrázku 3.2².



Obrázek 3.2: Optický senzor DS30-P1241

V této kapitole jsem vycházel z literatury [3], [4] a [5].

3.1.3 Výběr senzorů

Ve své práci jsem otestoval oba vhodné typy senzorů, optické i ty indukční. Vyzkoušel jsem si práci s těmito konkrétními typy senzorů:

- Optický SICK WTB27, SICK S30
- Indukční FEIG Electronic VEK M2H a VEK M4D, SICK IM30

Nyní popíši zkušenosti získané pozorováním při testování těchto produktů. Testování proběhlo nejdříve v laboratoři, kde ovšem všechny zmíněné senzory vykazovaly bezchybné chování. Testování na fyzické trati mělo ovšem jiný, výrazně odlišný výsledek.

U indukčních detektorů typu loop detector se vyskytovaly problémy s nemožností sestavit takovou cívku co do velikosti, tak i počtu závitů, která by byla schopna reagovat na průjezd kola. Zároveň aby neporušila parametry zařízení a byla by schopna se „naladit“ i vedle koleje, která je z kovu. A ten kov by samozřejmě ignorovala.

U dalších typů indukčního senzoru, konkrétně SICK IM30, byl problém v umístění senzoru tak, aby sepínal při průjezdu kola vlaku a zároveň aby za žádných okolností nedošlo k poškození vlivem mechanické vůle okolku či kola samotného. Celkově u indukčních senzorů byl problém s uchycením a montáží takového zařízení. Montáž musí probíhat v bezprostřední blízkosti koleje a zároveň nesmí nijak poškodit kolej, např. navrtáním. Uchycení na mechanickou „pružinu“, aby v případě jemného tlaku od vlaku se senzor nerozbil, se ukázalo nepraktické a pomalé.

Testování optických senzorů vykazovalo lepší výsledky. Nejvýhodnější vlastností těchto senzorů je jejich velký rozsah měření. Optický senzor jsem umístil ve vzdálenosti 1 m od kolejí a nasměřoval jsem jej nad kolej. Mechanicky a z hlediska bezpečnosti na kolejišti jsou

²Obrázek přejat z: <https://www.mysick.com/saqqara/thumbnaill.aspx?id=im0022182>

optické senzory nejlepší řešení. Testované zařízení SICK WTB27 se ukázalo jako vynikající řešení, ovšem problém nastával na lesklých plochách. Optický senzor SICK S30 problém s lesklými plochami nemá. Má dostatečný rozsah měření, a proto jsem jej využíval při všech testech. V mé práci, pokud neuvedu jinak, budu pod pojmem senzor či sonda uvádět právě senzor S30 od firmy SICK. Prostředí, ve kterém probíhaly testy, a samotné provedení testů uvádím v kapitole 5.1 na straně 35.

3.2 Vestavěný systém a RaspberryPi

Dříve, než popíši realtime systémy, je nutné definovat hardware, na kterém tyto systémy běží, tedy vestavěný systém. Definice je převzata z [6]. *Vestavěné systémy* VS jsou systémy provozované jako součást jiných systémů. Provádění výpočtů v rámci řídicího programu VS je uživateli skryto. VS je téměř jakýkoliv výpočetní nebo řídicí systém jiný než stolní počítač.

Dále bych uvedl parametry a vlastnosti jednodeskového počítače RaspberryPi. Jádrem tohoto počítače je jednočipový BCM2835 od firmy Broadcom, který obsahuje procesor ARM1176JZF-S s taktem 700 MHz. Počítač disponuje 256MB (model A) nebo 512MB (model B) pamětí RAM. Deska obsahuje dvacet šest digitálních IO portů. Podporuje průmyslové standardy UART, I2C a SPI. Dále počítač disponuje slotem na SD karty se systémem a je napájena 3.5W (700mA). Mezi další periferie RaspberryPI patří obrazový výstup HDMI, USB, 10/100MB Ethernet RJ45 (model B). V této práci byl využit model B. V této kapitole jsem vycházel z [7].

Počítač RaspberryPi budu považovat v této práci jako vestavěný systém. V roli, kterou plní v rámci systému, vyhovuje definici těchto systémů. Počítač zaznamenává data ze sond, ale nezobrazuje je uživateli, nýbrž tyto data posílá nadřazenému systému s větším výkonem, a také pracuje bez uživatelské interakce.

3.3 Realtime operační systém

V této části práce popíši základní pojmy v oblasti realtime operačních systémů. Definice jsou převzaty z [8]. *RT systém* je systém, který musí v explicitně stanovených mezích splňovat omezení kladená na dobu své odezvy na vstupní podněty nebo riskovat vážné důsledky plynoucí z jejich nesplnění. Doba od výskytu vstupních podnětů na vstupech systému do provedení požadovaného chování (odezvy), a to včetně výskytu daných hodnot na všech příslušných výstupech, se nazývá *doba odezvy systému*. Na systém se lze také dívat jako na soubor prvků, mezi kterými existují vazby. Dle tohoto logického pohledu na systém, lze systémy rozdělit do tří skupin:

1. Transformační - systémy, které produkují výsledky na základě vstupních dat dostupných při spuštění
2. Interaktivní – systémy, které mění běh programu na základě vstupu do systému v předem daných místech
3. Reaktivní – systémy, které reagují na podněty přicházející během činnosti systému. Typicky jsou to systémy, které představují řízení akčních členů na základě podnětu z různých čidel, popř. jen záznam těchto podnětů

RT systémy můžete klasifikovat také podle způsobu řízení, tzn. způsobem, jakým detekují změny, na které reagují:

1. Time-triggered – systémy, které jsou spouštěny časem
2. Event-driven – systémy, které jsou spouštěny událostmi

V současné době je běžné, že hardware a software je zabudován do jednoho celku, o kterém uživatel často neví, že jej řídí počítač. Takovéto systémy nazýváme pojmem vestavěné systémy, které popisují v kapitole 3.2. V mé práci budu pod pojmem RT systém označovat systém řízený událostmi (event-driven).

3.4 Kamera

V této kapitole popíši požadavky, které jsou kladeny na kameru, která zachycuje průjezd vlaku. Výběr kamery je velmi důležitý, protože přímo ovlivňuje spolehlivost čtení čísla dle Mezinárodní železniční unie. Mezi stěžejní vlastnosti kamery patří:

- Vysoce kvalitní obraz v jakémkoliv počasí - Obraz musí být kvalitní v přímém slunečním svitu, při dešti, v mlze či sněžení. Také okolní teplota nesmí hrát ve výsledné kvalitě obrazu žádnou roli. Kamera musí celkově být odolná vůči venkovnímu prostředí, tj. všechny její části, nejen optikou, ale celá konstrukce.
- Rychlost snímání - Rychlost snímání kamery je dána počtem vzorků, které stihne kamera nahrát za sekundu.
- Jas obrazu - Parametr, který se mění dle okolních podmínek, jak v čase během dne, tak v ročním období. Dnešní kamery disponují automatickým nastavením jasu. Upravují si ho sami dle aktuální situace.
- Osvětlení - Velmi důležitou částí je automatické osvětlení a přísvit pomocí infračerveného paprsku, které musí být synchronizováno se snímáním obrazu a ovládáním hodnoty jasu.

Všechny uvedené vlastnosti kamery přispívají k obrazu, který bude za všech okolností kvalitní a ostrý. Takovýto obraz je vhodný pro strojové zpracování pomocí počítačového vidění, a tedy ke správné detekci požadovaného čísla vagonu. Dalšími požadovanými vlastnostmi je kvalitní optika kamery, automatický shutter i clona; a také vhodná konektivita pro předání dat, např. pomocí ethernetu. Pro detekci je vhodné, aby obraz byl černobílý, resp. v odstínech šedi. Je to proto, že v takovémto obraze se lépe pracuje s kontrastem. V mé práci určuji limit rychlosti vlaku 100 km/h, což odpovídá 27,78 m/s. To znamená, že snímáný vagón, který projíždí, ujede téměř 28 m za jednu sekundu. Požaduji, aby ve výsledné nahrávce byly 2 snímky pro každý kód dle Mezinárodní železniční unie. Kamera musí pořídit alespoň dva snímky pro každý metr. Rychlost kamery musí být tedy alespoň 60 Hz. Vlaky, které snímám, jezdí rychleji, nicméně nepřekročí teoretický limit 200 km/h - 300 km/h³. Ten zaručuje, že najdu každé číslo dle Mezinárodní železniční unie na zaznamenaném videu.

³Uvážíme-li, že 300 km/h je 83 m/s, tak při 60 Hz nemáme nasnímán každý metr. Nicméně šířka nahrávaného obrazu je v reálném prostředí daleko větší než jeden metr. To znamená, že v reálných podmínkách každý metr nasnímáme i vícekrát.

Kamera FreewayCAM, kterou jsem si vybral pro snímání vlaku a která vyhovuje požadavkům, je od společnosti ARH Inc. Využívám od nich jak kameru, tak i software, který na základě obrázku rozpozná a vrátí číslo dle Mezinárodní železniční unie. Tato průmyslová kamera je speciálně určena pro tyto úlohy. Vybrané parametry lze vidět v tabulce 3.1⁴. Implementaci rozpoznávání a práci s kamerou popisují v kapitole 4.4.4. V této kapitole jsem vycházel z [9].

Tabulka 3.1: Vybrané parametry kamery FreewayCAM

Resolution (H×V pixels)	752 × 480
Sensor	B&W, Progressive scanCMOS 1/3"
Max. frame rate	60 frames/sec
Exposure control	Global shutter, software adjustable 1/100s – 1/30000s
Output format	JPEG, MJPEG stream
JPEG quality	Adjustable between 40% – 90%
Optical filter	Fixed, IR passabove 720nm
Recommended ANPR range	3m – 20m (10feet–65feet)
Iris Zoom, Focus	Automatic motorized, programmable
Operating temperature	-40°C – 55°C
Illumination type	High power IR LED (optional white LED), regulated
Illumination IR wavelength	850 nm (white LED: 435–750 nm)

3.5 Číslování dle Mezinárodní železniční unie

V této kapitole popíši způsob jakým je identifikováno železniční vozidlo v dopravě. Vysvětlím vývoj a vztahy mezi Mezinárodní železniční unií a rozhodnutími Evropské komise pro tzv. TSI - Technická specifikace pro interoperabilitu. Mezinárodní železniční unie je celosvětová organizace v odvětví železniční dopravy, která sdružuje 202 členů, včetně Českých drah a RegionJetu. Unie se zabývá rozvojem železniční dopravy na světové úrovni a řešení problémů mobility a udržitelného rozvoje. Mezinárodní železniční unie stanovila způsob jednoznačného číslování železničních vozidel vyhláškami:

- UIC 438-1 - osobní vozy
- UIC 438-2 - nákladní vozy
- UIC 438-3 - hnací vozidla
- UIC 438-4 - speciální vozidla

Každému železničnímu vozu je přiřazeno dvanáctimístné číslo, které dané vozidlo jednoznačně identifikuje v provozu. Myšlenkou legislativy Evropské unie je interoperabilita evropského železničního systému, tedy zabezpečení základních technických a provozních podmínek na síti drah s cílem zajistit podmínky pro bezpečnou a nepřerušenou jízdu drážních vozidel vysokorychlostního a konvenčního železničního systému. Směrnice Evropské unie, které řeší tuto interoperabilitu, zahrnují infrastrukturu i dopravu. Identifikace železničních vozidel spadá do TSI podsystém „provoz a řízení dopravy“. Systém identifikace dle Mezinárodní

⁴Přejato z http://www.arhungary.hu/doc/arh_freewaycam.pdf

železniční unie byl převzat z prvního vydání identifikace vozidel v provozu Evropské unie rozhodnutím Evropské komise tzn. „TSI - provoz a řízení dopravy“ (2006/920/ES). Tato vyhláška obsahuje důležité změny v identifikaci vozidla. Mezi nejdůležitější rysy patří:

- bod 4.2.2.3 „Identifikace vozidel“ a příloha P podrobně identifikují nový způsob označení vozidel,
- označení vozidel se v TSI liší od vyhlášky UIC 438-3,
- zavádí se jednotně dvanáctimístné označení vozidel (jako ve vyhláškách UIC),
- TSI jako vyšší právní norma je UIC vyhláškám nadřazena.

Rozhodnutí Evropské komise bylo upravováno následujícími vyhláškami:

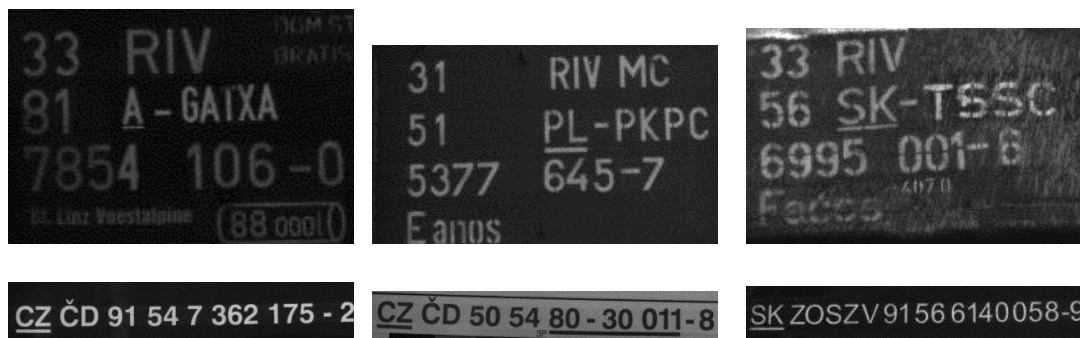
- Rozhodnutí Evropské komise 2007/756/ES - V „Rozhodnutí Komise 2007/756/ES ze dne 9. listopadu 2007, kterým se přijímá společná specifikace celostátního registru vozidel stanoveného podle čl. 14 odst. 4 a 5 směrnice 96/48/ES a 2001/16/ES“ byla provedena identifikace členských států.
- Rozhodnutí Evropské komise 2009/107/ES - V „Rozhodnutí Komise 2009/107/ES ze dne 23. ledna 2009, kterým se mění rozhodnutí 2006/861/ES a 2006/920/ES o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystémů transevropského konvenčního železničního systému“ byla provedena revize subsystému TSI „Kolejová vozidla - nákladní vozy“.
- Rozhodnutí Evropské komise 2010/640/EU - V tomto rozhodnutí proběhla další revize přílohy P dle doporučení Evropské železniční agentury.
- Rozhodnutí Evropské komise 2011/314/EU a 2012/757/EU - V těchto vyhláškách je upraveno pole působností pro Evropskou železniční agenturu.

Evropská železniční agentura (dále jen ERA) je jednou z agentur, které vznikla v roce 2004 na základě rozhodnutí 881/2004/ES a plně začala působit v roce 2006. Agentura stanovuje společné cíle, bezpečnostní metody a jejich ukazatele. Také poskytuje řadu databází, mezi které patří registry a zbývající vnitrostátní předpisy. V současné době udržuje TSI přílohu P, která obsahuje jednotlivé kódy zemí, technických vlastností vozů aj. Agentura odpovídá za přípravu revizí a aktualizací TSI a za vypracování doporučení pro výbor s cílem zohlednit technický a sociální rozvoj. Seznam všech vyhlášek lze nalézt na stránkách Ministerstva dopravy [10].

Identifikační dvanáctimístné číslo nese v sobě informace o daném vozidle, rozdělení je následující:

- 1. a 2. číslice - kódy způsobilosti pro interoperabilitu,
- 3. a 4. číslice - země, ve které je vůz registrován,
- 5. až 8. číslice - technické vlastnosti,
- 9. až 11. číslice - sériové číslo;
- 12. číslice - kontrolní číslice.

V následujících odstavcích podrobněji rozepíši význam jednotlivých skupin čísel z pohledu UIC a také TSI. Ukázka vzhledu takovýchto čísel je na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Ukázka hledaných kódů

3.5.1 Kódy způsobilosti pro interoperabilitu (1. a 2. číslice)

Pro každý typ železničního vozidla je vymezen interval pro kód způsobilosti pro interoperabilitu:

- nákladní vozy jsou v rozmezí 00 až 49 a 80 až 89,
- osobní vozy jsou v rozmezí 50 až 79 a
- hnací a speciální vozidla jsou v rozmezí 90 až 99.

Číselné označení doprovází nápis, který označuje vozidlo abecedním označením způsobilosti pro interoperabilitu (2006/920/ES, příloha P. 5):

- TEN - Vozidlo, které je v souladu s TSI Kolejová vozidla
- RIV - Vůz, který je v souladu s předpisy RIV k datu jejich zrušení
- PPV - Vůz, který je v souladu s dohodou PPV (uvnitř států OJSD)
- RIC - Osobní vůz, který je v souladu/byl v souladu s předpisy RIC

Pokud se jedná o hnací vozidlo, význam druhé číslice je shrnut v tabulce 3.2. Hnací vozidlo má první číslici „9“. Tabulka je přejata z novely 2010/640/EU, které mění rozhodnutí 2006/920/ES a 2008/231/ES.

Kódy pro nákladní vozy a tažená vozidla pro cestující lze najít v Úředním věstníku Evropské unie 2010/640/EU [15] (příloha P. 6 a P. 7).

3.5.2 Země, ve které je vůz registrován (3. a 4. číslice)

Tato skupina číslic označuje zemi, ve které je vozidlo registrováno a případně výchozí společnost, pokud to určuje 1. a 2. číslice. Některé společnosti byly v době přechodu na TSI členy UIC nebo OSŽD⁵ a využívaly popsany kód země jako kód společnosti. Tabulka 3.3 zobrazuje vybrané kódy zemí. Například pro Českou republiku je číselný kód 54 a registrovanou společností (v době přechodu) jsou to České dráhy.

⁵OSŽD - Organizace pro spolupráci železnic - Sdružuje zájmy železnic východoevropských a asijských států. Zkratky vychází z ruského originálu Organizacija dlja sotrudničestva železnych dorog

Tabulka 3.2: Typy hnacích kolejových vozidel a jednotek ve vlakové soupravě v pevně nebo předem definované formaci

Kód	Všeobecný typ vozidla
0	Různé
1	Elektrická lokomotiva
2	Diesellová lokomotiva
3	Elektrická souprava s více jednotkami (vysokorychlostní) [motorový vůz nebo vlečný vůz]
4	Elektrická souprava s více jednotkami (s výjimkou vysoko- rychlostních) [motorový vůz nebo vlečný vůz]
5	Diesellová souprava s více jednotkami [motorový vůz nebo vlečný vůz]
6	Specializovaný přívěsný vůz
7	Elektrická posunovací lokomotiva
8	Diesellová posunovací lokomotiva
9	Zvláštní vozidlo

Tabulka 3.3: Vybrané kódy zemí, ve kterých je vůz registrován

Země	Abecední kód země	Číselný kód země	Společnost (dle dřívějšího významu)
Rakousko	A	81	ÖBB
Česká republika	CZ	54	ČD
Dánsko	DK	86	DSB, BS
Egypt	ET	90	ENR
Estonsko	EST	26	EVR
Finsko	FIN	10	VR, RHK
Francie	F	87	SNCF, RFF
Gruzie	GE	28	GR
Německo	D	80	DB, AAE
Řecko	GR	73	CH
Litva	LT	24	LG
Lucembursko	L	82	CFL
Norsko	N	76	NSB, JBV
Polsko	PL	51	PKP
Slovensko	SK	56	ŽSSK, ŽSR
Slovinsko	SLO	79	SŽ
Tunisko	TN	91	SNCFT
Turecko	TR	75	TCDD
Turkmenistán	TM	67	TRK
Ukrajina	UA	22	UZ
Spojené království	GB	70	BR

Celý seznam zemí, jejich abecedních a číselných kódů, je uveden v příloze P. 4 Úředního věstníku Evropské unie 2010/640/EU [15].

3.5.3 Technické vlastnosti (5. až 8. číslice)

Skupina číslic pro technické vlastnosti se řídí dle typu vozidla, který je dán 1. a 2. číslicí. Číslice mají tedy různý význam, pokud je vozidlo typu:

- Nákladní vůz ([21] příloha P. 9)
- Tažená vozidla pro cestující ([21] příloha P. 10)
- Hnací kolejová vozidla a jednotky ve vlakové soupravě nebo předem definované formaci
- Zvláštní vozidla ([21] příloha P. 11)

Význam číslic u hnacích a kolejových vozidel je definován členskými státy, případně smlouvou. Tyto čísla se pohybují v rozsahu 0000001 - 8999999 a překrývají i čísla na místě pro sériové číslo. Zvláštní vozidla jsou v rozsahu 9000 - 9999 a význam sériového čísla v následujících číslicích je zachován. Tabulky jednotlivých číslic lze najít v [21], příloha P. 11.

U vozidel tažených pro cestující rozdělujeme čísla na dvě skupiny po dvou. První skupina, tedy 5. a 6. číslice, označuje typ vozu. Ve druhé skupině reprezentuje 7. číslice maximální rychlost a 8. číslice v závislosti na prvním čísle označuje druh dodávané topné energie. Ukázky hodnot a jejich význam shrnují v tabulce 3.5 a 3.4.

Tabulka 3.4: Ukázka hodnot 5. a 6. číslice u vozidel tažených pro cestující (typ vozidla)

	5.čisl. 6.čisl.	0	1
Vozidla se sedadly 1. třídy	2	10 kupé s postranní chodbičkou nebo ekvivalentní salonní prostor se středovou uličkou	11 kupé s postranní chodbičkou nebo ekvivalentní salonní prostor se středovou uličkou
Vozidla se sedadly 1. nebo 1./ 2. tříd	3	10 kupé s postranní chodbičkou nebo ekvivalentní salonní prostor se středovou uličkou	11 kupé s postranní chodbičkou nebo ekvivalentní salonní prostor se středovou uličkou
Vozidla se sedadly 1. nebo 1./ 2. tříd	4	10 kupé 1./2. třídy	Vyhrazeno
Lehátkové vozy 2. třídy	5	10 kupé	11 kupé
Vyhrazeno	6	Vyhrazeno	Vyhrazeno
Spací vozy	7	10 kupé	11 kupé

Tabulka 3.5: Ukázka hodnot 7. a 8. číslice u vozidel tažených pro cestující

Max. rychlost	6.čísł. 7.čísł.	Druh dodávané energie		
		0	1	2
< 120 km/h	0	Všechna napětí	Vyhrazeno	3000V~, 3000V=
	1	Všechna napětí Pára	1000V~, Pára (1)	1000V, Pára (1)
	2	Pára	Pára (1)	3000V~, 3000V=, Pára (1)
121 až 140 km/h	3	Všechna napětí	Vyhrazeno	1000V~, 3000V=
	4	Všechna napětí Pára	Všechna napětí Pára	Všechna napětí Pára
	5	Všechna napětí Pára	Všechna napětí Pára	Všechna napětí Pára
	6	Pára (1)	Vyhrazeno	3000V~, 3000V=

(1) Pouze vozidla pro vnitrostátní provoz.

Výklad nákladních vozů je založen na abecedním označení, které je převzaté a upravené z UIC normy. Vagóny náleží jedné ze skupin z tabulky 3.6 a význam písmen se liší dle kategorie vozu. Kategorie je dána první číslicí, další tři čísla se dle tabulky (obrázek 3.4, příloha P. 9) převedou na písmenné označení, které je pro každou kategorii odlišné. Například kód „83 54 6992 881 - 5“ označuje:

- 83 - nákladní vůz
- 54 - CZ ČD
- 6 - kategorie F
- 992 - písmenná označení „accs“
- 881 - sériové číslo
- 5 - kontrolní číslice

Třída a písmenné označení vychází z [21] příloh P. 12 a P. 9. Převod je ukázán na obrázku 3.4. Význam vybraných písmen z kategorie „F“ je shrnut v tabulce 3.7⁶. Písmeno „s“ má význam společný pro všechny kategorie, jedná se o podmínky pro oprávnění jezdit na trati.

⁶Úplný výčet písmen a jejich významů je uveden v [21], příloha P. 12, str. 3

Tabulka 3.6: Kategorie nákladních vozů

kategorie	Referenční vůz
E	Otevřený vůz s vysokými postranicemi běžného typu
F	Otevřený vůz s vysokými postranicemi speciálního typu
G	Krytý vůz obyčejného typu
H	Krytý vůz speciálního typu
I	Vůz s řízenou teplotou (chladírenský vůz s tepelnou izolací třídy IN)
K	2-nápravový plošinový vůz obyčejného typu
L	2-nápravový plošinový vůz speciálního typu
O	Smíšený plošinový a otevřený vůz s vysokými postranicemi obyčejného typu
R	Plošinový vůz s podvozkem obyčejného typu
S	Plošinový podvozkový vůz speciálního typu
T	Vůz s otevírací střechou
U	Speciální vozy (jiné než vozy v kategorii F, H, L, S nebo Z)
Z	Cisternový vůz

Tabulka 3.7: Vybraná indexová písmena vozu kategorie „F“

Indexové písmeno	Význam
a	se 4 nápravami
aa	se 6 nebo více nápravami
b	vysokokapacitní s nápravami (objem > 45 m ³)
c	s řízenou vykládkou samospádem, na obou stranách, střídavě, nahoře
cc	s řízenou vykládkou samospádem, na obou stranách, střídavě, dole
f	vhodné pro provoz s Velkou Británií
ff	vhodné pro provoz s Velkou Británií (výhradně tunelem)
fff	vhodné pro provoz s Velkou Británií (výhradně trajektem)



NVR Decision 2007/756/EC
Appendix 6, Part 9

- 29 -

Special open high-sided wagons

1st coding digit:

6

Category letter:

F

Text of footnotes

- (1) Wagon with 3 axles
- (2) Wagon which can only be unloaded by complete tipping-over (without door in the sides or ends, or trap in the floor)
- (3) Wagon with unloading apertures permitting unloading on one side only
- (4) Wagon with four separate axles
- (5) Suitable for running empty at up to 120 km/h.

(a) Úryvek z UIC leaflet 483-2 / příloha P. 9, tabulka 6

64						al	6				64
65						al	6	ans			65
66						al	6	ans			66
67						al	6	ans			67
68						al	6	ans			68
69						al	6	ans			69
70						al	6	ans			70
71						al	6	ans			71
72	bs					al	6	ans			72
73	bs	kl				al	6	ans			73
74						al	6	ans			74
75						al	6	ans			75
76						al	6	ans			76
77						al	6	ans			77
78						al	6	ans			78
79						al	6	ans			79
80						al	6	ans			80
81						al	6	ans			81
82						al	6	ans			82
83						al	6	ans			83
84						al	6	ans			84
85						al	6	ans			85
86						al	6	ans			86
87						al	6	ans			87
88						al	6	ans			88
89						al	6	ans			89
90						al	6	ans			90
91						al	6	ans			91
92						al	6	ans			92
93						al	6	ans			93
94						al	6	ans			94
95						al	6	ans			95
96						al	6	ans			96
97						al	6	ans			97
98						al	6	ans			98
99						al	6	ans			99

(b) Úryvek z přílohy P. 9, tabulka 6

Obrázek 3.4: Převod mezi písmeny a čísly

3.5.4 Sériové číslo (9. až 11. číslice)

Jedná se o pořadové či sériové označení konkrétního vozidla, tedy číslo v řadě. Povolený rozsah je 000 až 999, tedy 1000 čísel.

3.5.5 Kontrolní číslice (12. číslice)

Kontrolní číslice se vypočítá následujícím způsobem (2006/920/ES [12], příloha P. 3):

1. Číslice na lichých pozicích vynásobíme dvěma (počítáno zprava).
2. Stanovíme ciferný součet všech číslic.
3. Stanovíme kontrolní číslici jako desítkový doplněk ciferného součtu z předchozího bodu.

Příklad: 33 84 4796 100

- Dle prvního bodu vynásobíme ciferně liché čísla, dostáváme tedy číselnou řadu:

$$6 \ 3 \ 16 \ 4 \ 8 \ 7 \ 18 \ 6 \ 2 \ 0 \ 0$$

- Provedeme ciferný součet, což je:

$$6 + 3 + 1 + 6 + 4 + 8 + 7 + 1 + 8 + 6 + 2 + 0 + 0 = 52$$

- Vypočítáme desítkový doplněk. Číslice na místě jednotek je 2, kontrolní číslice bude tedy 8.

Výsledné označení je 33 84 4796 100 - 8.

V této kapitole jsem vycházel ze zdrojů [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [19], [17], [20] a [21].

Kapitola 4

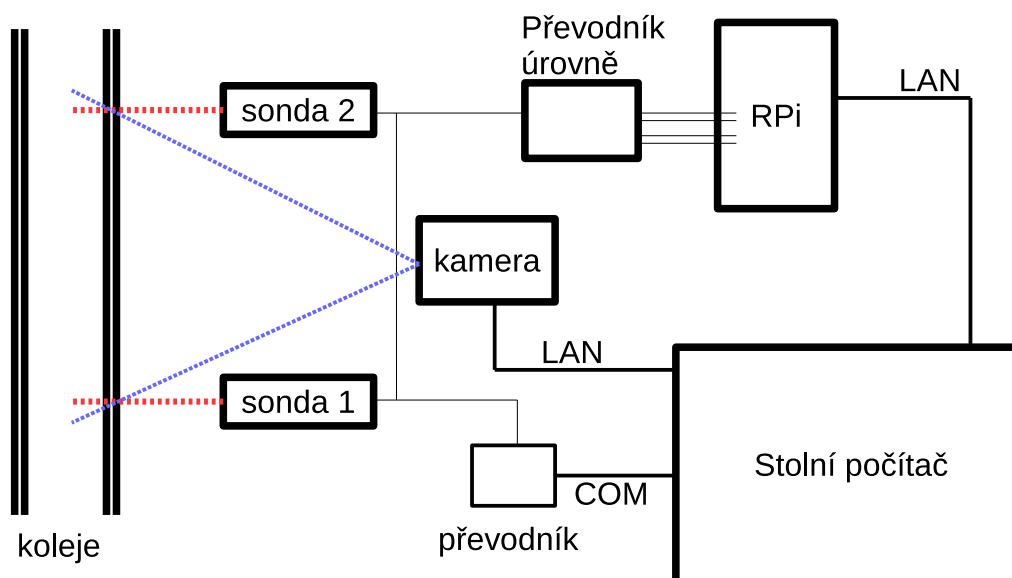
Realizace systému

V této části shrnu aktuální stav realizace systému. Tzn. jak je systém skutečně vytvořený.

4.1 Zapojení systému

Fyzické zapojení systémů jsem formoval dle základní koncepce. Sonda při průjezdu kola vlaku sepne a pošle tím impuls do vestavěného systému RaspberryPi (na obrázku zobrazen zkratkou RPi). Mezi sondami a RaspberryPi je umístěn převodník úrovně, který má za úkol přizpůsobit napětí z výstupu sondy 12 V na 3,3 V, které může přijímat na vstupu pin u desky RaspberryPi. Vestavěný systém RPi zaznamenává příchod logické úrovně a zaznamená i čas příchodu této události. Po skončení měření posílá naměřená data do stolního počítače. Stolní počítač měřená data zpracovává a detekuje nápravy. Po sepnutí sondy je paralelně přes převodník vyslán signál seriovou linkou do stolního počítače. Systém začne snímat projíždějící vlak.

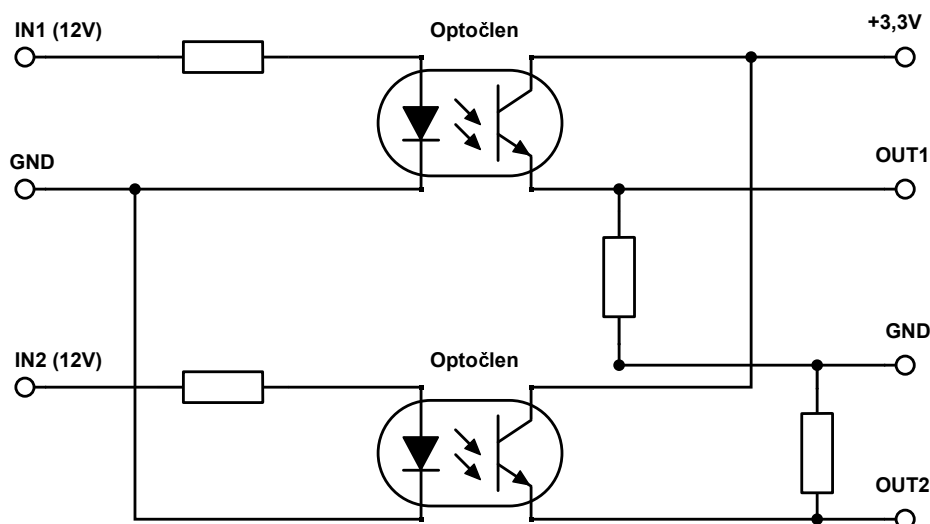
Zapojení lze vidět na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Ilustrace schématu zapojení

Systém funguje jako posloupnost jednotlivých komponent. Vstupem první komponenty

je zastínění sondy při průjezdu vlakového kola. Sonda sepne elektrický proud do převodníku úrovní. Převodník úrovně přizpůsobí napětí na 3,3 V. Deska převodníku je řešena pomocí optočlenu, který sepne při vstupu ze sond okruh, který napájí sám RaspberryPi. Tím je zajištěno galvanické oddělení napětí. Nemůže dojít k situaci, kdy by vlivem okolí byl na svorkách pinu RaspberryPi větší proud než je 3,3 V. Zapojení převodníku, který provádí napěťové přizpůsobení je vidět na obrázku 4.2. Při sepnutí okruhu pro RaspberryPi dostane RT systém na vstupu pinu desky logickou „1“ na kterou reaguje záznamem čísla sondy a aktuálním časem. Při průjezdu kola dochází paralelně k sepnutí kontaktů u seriové linky (RS-232) přes druhý převodník. Převodník sepíná piny 4 a 6 pro jednu sondu, 7 a 8 pro sondu druhou. Tímto způsobem systém ví o projíždějícím vlaku a začne jej zaznamenávat pomocí kamery. Implementaci RT systému popisují v kapitole 4.2. Po průjezdu vlaku dojde k vyhodnocení dat ve vyšším systému, tedy ve stolním počítači. Stolní počítač si od vestavěného systému vyžádá naměřená data. Implementaci detekce vlakové nápravy popisují v kapitole 4.4. K tomu, aby stolní počítač mohl rozhodnout, kdy došlo k začátku, resp. ke konci měření, jsou nutné informace o průjezdu ze sond. Proto jsou sondy napojeny krom vestavěného systému také přes převodník do stolního počítače. Detekci konce popisují v kapitole 4.4.5.



Obrázek 4.2: Zapojení převodníku napětí

4.2 Implementace RT systému

Před programováním RT aplikace je nutné připravit prostředí, ve kterém bude tato aplikace běžet. Do vestavěného systému RaspberryPi jsem zkompiloval vlastní jádro operačního systému Linux. Nejdříve jsem na jádro aplikoval *CONFIG_PREEMPT_RT Patch Set* [22], který obsahuje podporu preemptivního plánování a celkově RT přístupu. Tato sada patchů jádru dodá vlastnosti, které jsou žádoucí pro běh RT aplikací. Zejména implementace jaderných *lock-primitives* pomocí *rtmutex*, které jsou preemptivní; ochrana kritických sekcí z důvodu preemptivity; implementace inverze priorit uvnitř jádra; konverze přerušovacích rutin do jaderných vláken aj.

Vlastností, které bylo nutné aktivovat či zakázat v konfiguraci jádra:

- povolení samotného *CONFIG_PREEMPT_RT*,

- aktivování *High Resotution Timer*,
- deaktivování všech možností z manažeru napájení, zejména ACPI, APM.

Po připravení takového jádra je nutné jej ověřit. První ověření probíhá na základě popisku o verzi, která musí obsahovat dovětek „rt“. RT systém běží na jádru s verzí *3.12.24-rt38-rc1+ #4 PREEMPT RT*. Dále jsem jádro otestoval pomocí utility *cyclicttest*, která testuje cyklicky výkonnost systému. Nástroj testuje pomocí různých časovačů odchylky mezi spánkem a probuzením vysoce prioritní úlohy. Po připravení a nahrazení jádra v systému bylo nutné tento systém optimalizovat. Optimalizoval jsem systém tak, že všechny nepotřebné služby a všechny nepotřebné programy v uživatelském prostoru jsem smazal. Tímto jsem docílil minimální počet procesů v systému. Dalším zkoumáním systému jsem postupně odstranil všechny procesy i ovladače jádra, které nebyly potřeba. A které buď generovaly IRQ, nebo jen registrovaly nějaké IRQ. Pozorování systému probíhalo skrz rozhraní souboru */proc/interrupts*.

Pro takto připravený systém jsem naimplementoval program, který zaznamenává čas příchodu logické úrovně „0“ a čas příchodu logické úrovně „1“. Implementaci této funkcionality jsem provedl na dvou odlišných řešeních. První je aplikační program, běžící v uživatelském prostoru. Druhé řešení je modul do jádra operačního systému, který běží v prostoru jádra. V následujících odstavcích stručně shrnu obě tyto řešení a odstavci posledním zdůvodním, proč jsem vybral právě to jedno řešení.

První řešení spočívalo v naprogramování modulu do jádra operačního systému. Modul se při inicializaci registruje funkcí pro obsluhu zařízení pomocí jaderných volání *gpio_request()*, *gpio_to_irq()* a *request_irq()*. Ve funkci obsluhy přerušení zakazuji další přerušení a ukládám jeho kontext pomocí *local_irq_save()*, na konci obsluhy přerušení tento kontext opět obnovuji a přerušení povoluji pomocí komplementární jaderné funkce *local_irq_restore()*.

Pro uchování dat využívá modul takzvané *Lookaside Caches* [23]. Tyto speciální vyrovnávací paměti pracují jako úschovna velikostně stejných objektů. Hlavní výhodou je rychlost vkládání (alokování) nových objektů, které provádí jádro. Jádro udržuje volné místo, které vyhrazuje pro možnost rychlého vložení. Při inicializaci provádím vytvoření prostoru pro objekty voláním *kmem_cache_create()* a v obsluze přerušení *kmem_cache_alloc()*, které vrací ukazatel na místo, kam lze nakopírovat objekt. Do každého z těchto objektů ukládám právě jednu položku z lineárního seznamu, která reprezentuje údaje z jedné události RT systému. Pro dealokaci a vyčištění místa při úklidu volám *kmem_cache_free()* a postupně systém zbavuji dat z měření.

Bohužel testy ukázaly, že alokace pomocí *kmem_cache_alloc()* není dostatečně rychlá. Jaderný modul jsem upravil tak, že alokace paměti probíhá při načtení modulu do jádra. Alokuji uměle velké množství objektů do *Lookaside Caches* a propojuji tyto objekty ukazateli, které tvoří lineární seznam. V obsluze přerušení probíhá pouze kopírování na daný objekt a posunutí ukazatele na objekt další. V jaderném modulu přistupuji k paměti a celkově se modul chová stejně jako RT aplikace, která běží na aplikační úrovni v systému. Jaderný modul využívá volnoběžící časovač z desky hardwaru tak, jak je popsáno v odstavci, který rozebírá druhé řešení - RT aplikaci. Testy popisují v kapitole 4.3, kde udávám výsledky až po zpracování alokování.

Již zaznamenaná data z měření je nutné nějak předat vyššímu systému či v tomto případě uživatelskému prostoru, kde další program tyto data pošle například pomocí sítě na počítač ke zpracování nebo jen na terminál, kde se zobrazí v podobě surových dat. Tuto úlohu jsem implementoval pomocí *Char drivers* (znakových ovladačů) [23]. Registraci provádím pomocí volání *register_chrdev()*. Při volání čtení z uživatelského prostoru handler

kopíruje data do textové podoby na výstup. Využívá jadernou funkci *copy_to_user()*, která obstarává kopírování dat mezi uživatelským a jaderným prostorem. Zároveň tyto záznamy maže z vyrovnávacích pamětí jádra.

Poslední částí tohoto řešení je uživatelský program s nízkou prioritou (např. krátký skript v bashi), který vytvoří znakový soubor v souborovém systému */proc/* a pokusí se z něj číst. Vytvoření znakového zařízení lze vyvolat příkazem *mknod*. Tuto úlohu jsem vyřešil pomocí klasického programu naprogramovaném v jazyku C. Program vytváří Unixový socket a pomocí volání knihovních funkcí *bind()*, *listen()* naslouchá na portu. V nekonečné smyčce čeká na klienta pomocí funkce *accept()*. Po připojení klienta otevírá znakové zařízení jaderného modulu */dev/probe_measurement* a čte z něj. Veškerý obsah tohoto souboru, ve kterém je výsledek z měření, přeposílá pomocí socketu klientovi, tedy vyššímu systému - stolnímu počítači. Nastavovací skript systému uvádím ve výpisu 4.1.

Ukázka 4.1: Nastavení systému (*/etc/rc.local*)

```
# nastavení profilu k CPU
echo -n performance > /sys/devices/system/cpu/cpu*/cpufreq/scaling_governor
# zavedení modulu jádra do systému
insmod /var/local/measurement_probe.ko
# vytvoření znakového zařízení
mknod /dev/probe_measurement c 222 0
# spuštění programu na pozadí
/var/local/measurement_transmitter &
```

Druhým přístupem k řešení problematiky přesného záznamu je RT aplikace v uživatelském prostoru systému. Měřící vlákno aktivně, tedy cyklicky, testuje stav jednotlivých pinů desky a v případě změny tyto změny zaznamenává. Při implementaci této aplikace jsem využíval datasheet periférie, který uvádím ve zdroji [24].

Před spuštěním zaznamenávajícího vlákna, bylo nutné připravit úložiště a nastavit další chování aplikace. První aplikace mapuje fyzickou adresu základní adresy GPIO periférie na adresu logickou, čímž aplikaci zpřístupním paměť, ve které jsou uloženy hodnoty jednotlivých I/O pinů. Dalším úkonem je inicializovat časovač, který bude značkovat příchozí události.

Inicializace volnoběžícího časovače probíhá přímo z desky hardwaru. Inicializace je provedena nastavením ukazatele do paměti, kde se nachází¹ tento čítač. Čítač má frekvenci 1 MHz a čtení této hodnoty provádím jako zkopírování hodnoty čítače do paměti. Pro měření úlohy není nutné znát přesný čas včetně data, stačí pouze přesný rozdíl časů, proto je možné využít i čítač. Rozdílem dvou hodnot čítače a dělením této hodnoty dle frekvence čítače dostávám rozdíl času v sekundách. Vysvětlení rozdílu času u signálů rozebírám v kapitole 4.3 na straně 24.

Poslední problém, který byl nutno vyřešit je ukládání výsledků do paměti. Vyřešil jsem jej pomocí knihovny implementující standard POSIX. Program alokuje potřebnou paměť, kterou pomocí funkcí *mlockall()* a *mallopt()* uzamkne a zakáže navrácení této paměti zpět do operačního systému. Uzamknutím paměti program zajistí, že při každém využití libovolné stránky z tohoto bloku paměti nedojde k anomálii zvané *page fault*, která by mohla mít za následek přepnutí kontextu či takové zpoždění, při kterém by došlo k nedodržení časových omezení RT aplikace. Alokování paměti je časově náročná operace, proto probíhá s předstihem, ne až ve chvíli kdy je potřeba nová paměť. Před spuštěním měřícího vlákna program zvětší zásobník vlákna, RT politiku plánovacího algoritmu *Roubin Round*

¹Dle [24], strana 172

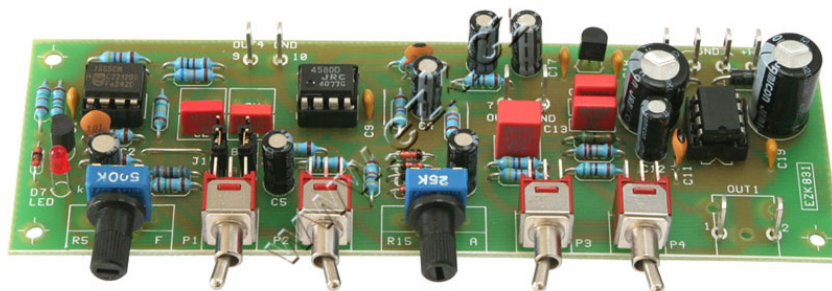
plánovači a nastaví vláknu jeho maximální prioritu.

Jaderný modul, který jsem si vybral jako řešení má oproti druhému řešení řadu výhod. Na rozdíl od aplikace modul nevyužívá tzn. aktivní testování, které ubírá výkon systému i v době, kdy není žádná aktivita. Aktivní testování má také špatný vliv na spotřebu zařízení. Po úpravách jaderného modulu jsou jeho výsledky stejné nebo lepší než RT aplikace. Kromě samotné verifikace obou přístupů to dokazují i testy, které popisují v kapitole 5.1. To jsou důvody, proč jsem vybral jaderný modul. Způsob verifikace RT aplikace a jaderného modulu popisují v následující kapitole.

4.3 Verifikace RT systému

Po implementaci RT programu a jaderného modulu (dále jen RT systém) bylo nutné je verifikovat ještě před otestováním na reálném provozu. Verifikaci jsem provedl pomocí měření odezvy systému a jeho vyhodnocení. Nástrojem pro verifikaci, po konzultaci s vedoucím práce, se stal nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů GPZ5533, který mi vedoucí práce vypůjčil pro tuto činnost.

První jsem nastudoval krátký manuál, který je dodáván s tímto přístrojem. Dle tohoto návodu jsem nastavil jednotlivé parametry generátoru. K nim patří amplituda, frekvence a rozsah. Tvar signálu jsem nastavil na obdélník. Generátor nemá přesně danou amplitudu ani periodu signálu, ani jejich výčet. Podporuje rozsah, který lze ručně posunovat výstupním manipulátorem. Ten lze vidět na obrázku 4.3², první zleva. Takováto manipulace při nastavování např. frekvence signálu, je nepřesná. Chyba vzniká jako nepřesnost rukou při nastavování těchto parametrů. Proto dříve, než jsem zapojil RT systém, který zaznamenává signály, jsem pomocí osciloskopu, který zobrazoval výstup generátoru, co nejpřesněji nastavil parametry signálu, zejména jeho amplitudu a periodu. Na osciloskopu lze signál zastavit, přiblížit a velmi přesně změřit.



Obrázek 4.3: Nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů GPZ5533

Propojení RT systému a verifikačního nástroje bylo následující:

- Propojení generátoru GPZ5533 s vestavěným systémem RaspberryPi.
- Paralelní připoj osciloskopu pro kontrolu nastavené periody a ostatních parametrů.

Cílem této verifikace je důkaz, který řekne, zda systém, který je testován, splňuje včasnost reakce při příchodu události. Do RT systému přichází události v podobě změny pinu na desce RaspberryPi a RT aplikace či jaderný modul musí zaznamenat tento vstupní podnět,

²Obrázek přejat z: <http://www.ezk.cz/e-shop/img/det/gpz5533.jpg>

včetně času. RT systém nikdy nesmí být ve stavu, kdy by zpracovával událost a zároveň přišla další událost do systému, kterou by nezachytil. Výsledky těchto pokusů shrnuje tabulka 4.1 pro RT aplikaci a tabulka 4.2 s výsledky jaderného modulu.

Tabulka 4.1: Výsledky měření odezev RT aplikace

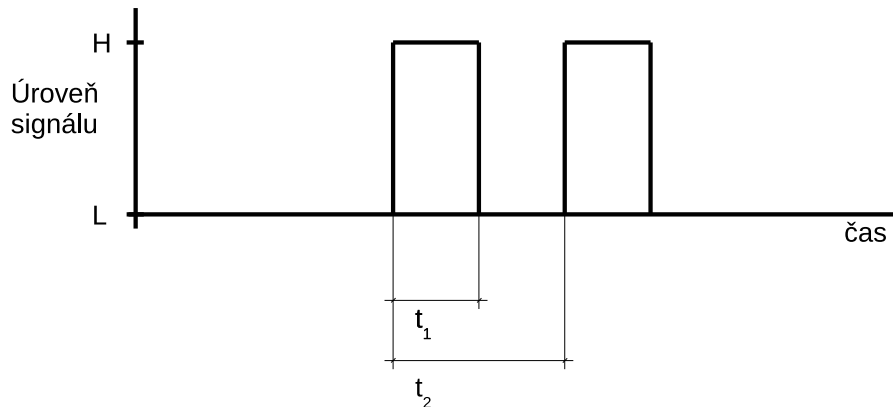
Délka impulzu	Minimum	Maximum	Rozdíl hladin (minimum)	Rozdíl hladin (maximum)
30 ms	28,928 ms	30,034 ms	58,923 ms	59,005 ms
20 ms	20,191 ms	19,655 ms	39,744 ms	39,908 ms
10 ms	10,110 ms	10,237 ms	20,296 ms	20,396 ms
5 ms	4,942 ms	5,119 ms	10,011 ms	10,110 ms
3 ms	2,899 ms	3,101 ms	5,956 ms	6,057 ms
1 ms	0,730 ms	0,949 ms	1,618 ms	1,732 ms

Dříve než shrnu tabulky s daty, shrnu vlastnosti generovaného signálu. Délkou impulzu označuji čas, jak dlouho byl signál v logické úrovni „1“ a zároveň to označuje čas, délky logické úrovně „0“. Signál je periodický. Sloupec minimum a maximum v tabulce je vypočítán jako minimum či maximum rozdílu času příchodu nástupných a sestupných hran. Rozdílem hladin myslíme rozdíl časů nástupných hran. Ilustraci těchto časů vidíme na obrázku 4.4. T_1 představuje rozdíl času nástupné a sestupné hrany, zatímco t_2 označuje rozdíl hran nástupných.

Tabulka 4.2: Výsledky měření odezev jaderného modulu

Délka impulzu	Minimum	Maximum	Rozdíl hladin (minimum)	Rozdíl hladin (maximum)
20 ms	19,286 ms	19,769 ms	39,006 ms	39,102 ms
10 ms	9,899 ms	10,000 ms	19,838 ms	19,937 ms
8 ms	7,962 ms	8,084 ms	15,960 ms	16,099 ms
6 ms	6,205 ms	5,981 ms	12,106 ms	12,277 ms
4 ms	3,989 ms	4,195 ms	8,136 ms	8,237 ms
2 ms	2,015 ms	2,226 ms	4,201 ms	4,301 ms
1 ms	0,945 ms	1,154 ms	2,034 ms	2,152 ms

Výsledky z tabulky ukazují, že jsou-li signály dlouhé 30 ms, aplikace zachytila tuto událost nejdříve již po 28,928 ms a nejdéle za 30,034 ms. Odchylka je způsobena nepřesností, jak RT systému, tak nastavení generátoru kmitů a samotnou nepřesností tohoto přístroje. To, že hodnota minima je menší než délka impulzu, neznamena, že byl zachycen signál dříve než vyslán, ale ukazuje situace, kdy byla událost nástupní hrany zaregistrována později. Avšak zpracování události, kterou vyvolala vzestupná hrana, proběhlo téměř okamžitě. Proto rozdíl může být menší než délka signálu.



Obrázek 4.4: Ilustrace rozdílů časů u signálů

Z povahy experimentu vyplývá, že RT systém žádný signál neztratí, pokud budou dodrženy obě následující podmínky:

1. Rozdíl časů jednoho signálu (t_1) nesmí být větší než perioda signálu.
2. Rozdíl časů po sobě jdoucí nástupné hrany (t_2) nesmí být větší než dvojnásobek délky periody signálu neboli čtyřnásobek délky signálu.

RT systém dodržel podmínky, které jsou na něj kladené. Žádný ze signálů nebyl zpracován v nepřipustném čase, proto verifikování RT aplikace i jaderného modulu považuji za úspěšnou. V následující kapitole uvedu, jakým způsobem jsem zpracovával tyto údaje z měření.

4.4 Prototyp programu pro detekci vlakových náprav

Po implementaci a verifikaci RT systému bylo nutné navrhnout algoritmus, který by z dat, jež obdrží z vestavěného systému, rozpoznal jednotlivé nápravy vlaku. Úkolem aplikace je nejdříve vytvořit seznam kol projíždějícího vlaku. Dále seznam kol rozdělit do skupin podle jednotlivých náprav vlaku. Z vlakových vagónů pomocí nahraného videa detekovat číslo dle UIC.

4.4.1 Zpracování dat z měřicího systému

Prvním úkolem je zpracovat data z měřicího systému. Z podstaty úlohy vyplývá, že naměřená data jsou dva stejné signály posunuté v čase. Sonda, která vytvořila jako první záznam, záznam s nejmenším časem, určuje směr projíždějícího vlaku. Druhá sonda toto kolo zaznamenala o chvíli později. Data jsou tedy uspořádána jako dvojice měření, kde každá dvojice představuje jedno kolo vlaku. Spárováním těchto dvojic dostaneme seznam kol vlaku.

Pro každé kolo určuji jeho rychlost. Známe vzdálenost mezi dvěma sondami a známe čas, který potřebovalo kolo na průjezd touto vzdáleností. Čas vypočítáme jako rozdíl zaznamenaného času u první sondy a sondy druhé. Čas je zaznamenávám z 1 HMz časovače, proto musíme ještě rozdíl časů převést na základní jednotky – sekundy. Výsledek při zobrazování uživateli převádím na standardní jednotku [km/h]. Po upravení máme tedy vzorec pro výpočet rychlosti následující:

$$r = v/t * 3,6, t = (t_2 - t_1)/10^6, t_1 < t_2$$

Ve vzorci t_1 představuje čas záznamu ze sondy, která má menší čas než čas t_2 .

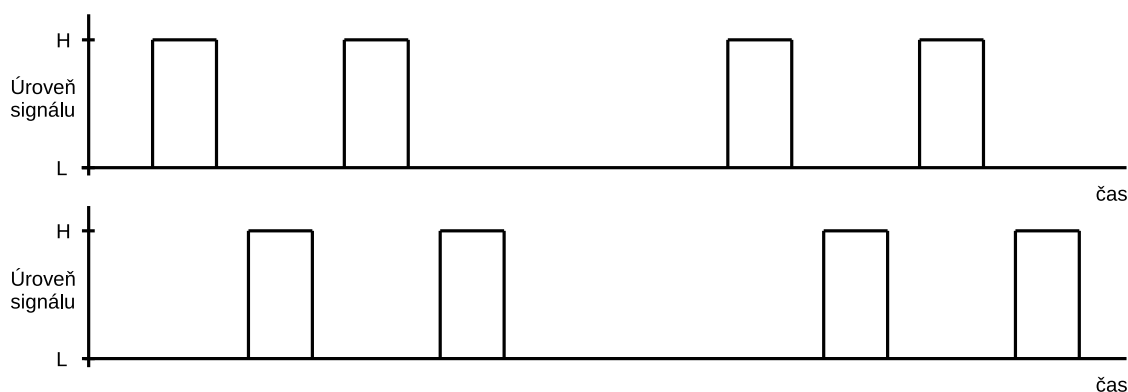
Pomocí tohoto vzorce pro každé kolo vypočítáme jeho rychlost. Průměr těchto rychlostí označuji jako rychlost vlaku. Umíme také určit vzdálenost jednotlivých kol od sebe, známe rychlost kola a časové zpoždění mezi kolem a kolem předchozím (rozdíl časů příjezdu daných kol). Vzdálenost mezi koly je stěžejní veličina, podle které jsou následně rozpoznávány rozvozy v samotných vagónech. Vzorec pro výpočet vzdálenosti mezi koly je:

$$s = v * t, t = (t_2 - t_1)/10^6, t_1 < t_2$$

Ve vzorci t_1 představuje čas předchozího kola a t_2 čas aktuálně počítaného kola. Rychlost v je udávána v [m/s].

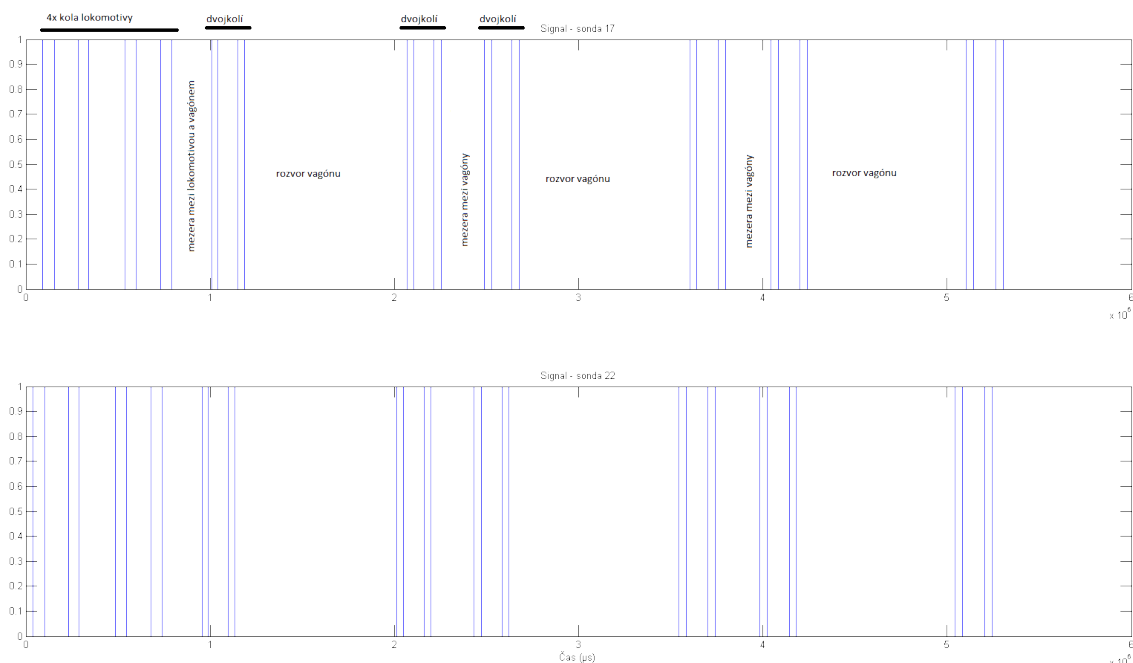
Při testování systému v reálných podmínkách na trati, které popisují v kapitole 5.1 na straně 35, se vyskytla chyba v podobě rozdělení průjezdu jednoho kola na dva po sobě jdoucí signály. Chyba je způsobena průjezdem kola s otvory. Tyto dva signály se vyznačují svou neobvyklou délkou – jsou velmi krátké. V součtu dávají jeden signál, který odpovídá průměrným velikostem ostatních signálů z daného vlaku.

Pro první řešení těchto chyb jsem vytvořil v MATLABu krátký program. Program sestojí signál ze záznamu o vlaku. Jedná se o binární signál, tudíž nejdříve vytvořím pole samých nul. Následně upravím hodnoty všech časů, kdy byl senzor zastíněn. Takto vytvořím vektory binárních hodnot reprezentující signál pro obě sondy. Signály graficky vidíme na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Zobrazení binárních signálů v čase

Pomocí funkce *xcorr*, která představuje implementaci *cross-correlation* algoritmu, vypočítám ideální posun v čase těchto dvou signálů. U implementace jsem se potýkal s problémy v podobě nedostatku paměti. Časová osa vychází z frekvence časovače, tedy milionu vzorků za sekundu. Jeden vlak měl například 150 milionů vzorků. V prostředí MATLABu jsou všechny hodnoty reprezentovány v paměti jako double, a proto i na školních počítačích v CVT, které jsou vybaveny 8GB RAM pamětí, byl problém takovýto výpočet provést. Časovou osu záznamu o vlaku jsem upravil tak, že jsem smazal ze signálu období, které předcházelo příjezdu prvního kola a časové období, které následovalo za projetím vlaku. Touto optimalizací jsem časovou osu zkrátit řádově na šest milionů vzorků. Ukázkou takto zpracovaného vlaku vidíme na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Ukázka zpracovaného vlaku

Druhé řešení, které je o mnoho jednodušší, se zakládá na principu střídání vzorků ze sond. Pokud umístíme sondy dostatečně blízko u sebe, například 1 metr, jako jsem to udělal já, musí být záznam o vlaku složen ze střídajících se signálů obou sond. Není fyzicky možné, aby v jednom času obě sondy detekovaly kolo. Tento předpoklad ale porušuje právě tento chybný signál, složený ze dvou kratších signálů. Proto pokud budou dva krátké signály následovat po sobě, aniž by došlo k záznamu na druhé sondě, tyto signály sloučím a budu je považovat za jeden. Takto jsem opravil vzniklé chyby měření.

4.4.2 Detekce kol

Dalším úkolem bylo ze zpracovaných dat z měření rozpoznat jednotlivá kola. Jednoduchý algoritmus páruje dvojice záznamů. Pro každý pár musí být tato dvojice na časové ose „vedle sebe“, tedy seřazením všech záznamů dle času musíme po úpravách naměřených dat, které popisují v předchozí kapitole, dostat seznam záznamů, kde se pravidelně střídají záznamy z obou sond. Tak dostaneme seznam kol vlaku. Tento algoritmus pro párování záznamů musel být po otestování upraven. Úpravy spočívaly v detekci falešných kol. Falešné kolo se vyskytuje v situacích, kdy zastíníme sondu, a následně i druhou. Tedy přesně tak, jak to dělá kolo. Tyto anomálie jsou způsobeny např. vyčnívající karosérií na úrovni sond či jiným předmětem zastíňujícím sondy (např. řetězem, který visí z vlaku). Více tyto anomálie popisují v kapitole 5.1.

Detekce falešných kol zakládá na kontrole těchto veličin:

- rychlost kola,
- délka mezi koly.

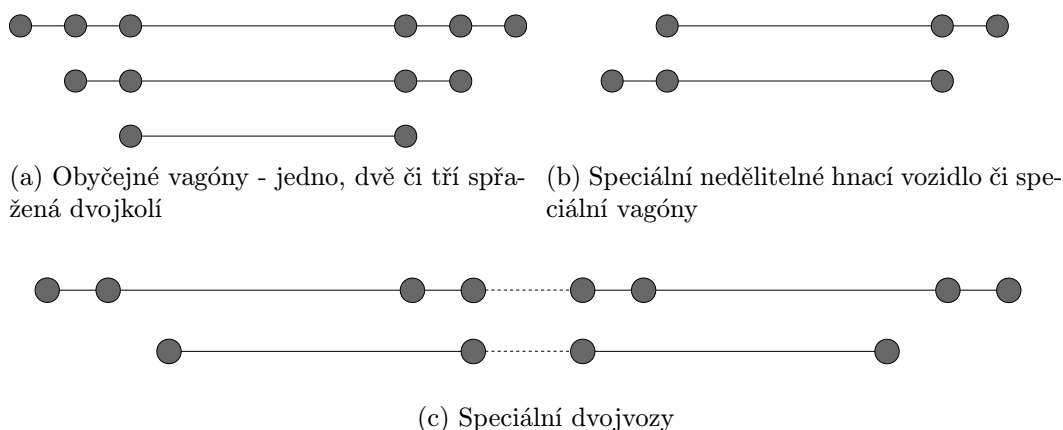
Prvně procházím kola a detekuji ty, jejichž rychlost se výrazně liší od průměru vlaku. Takové kolo opravuji přepočítáním rychlosti dle jeho sousedních záznamů. Jsou to záznamy,

které jsem sloučil či smazal při zpracování surových dat vinou chybného střídání sond. Pokud tyto záznamy existují, testuji jak záznam, který má čas před, tak záznam, který má čas po aktuálním čase kola. Je-li vypočítaná rychlost dle těchto smazaných sousedních záznamů na hladině průměru, opravuji tím záznamem, který je nejbližší průměru.

Druhým krokem je výpočet vzdálenosti kol mezi sebou. Protože vzdálenosti je závislá na rychlosti, musím ji po každé úpravě přepočítat. Pro vzdálenost na rozdíl od rychlosti platí určitá pravidla. První pravidlo říká, že vzdálenost mezi koly musí být větší než 1,4 m. Druhé pravidlo stanovuje, že neexistuje kolo, jehož vzdálenost k předchozímu kolu je větší než 50 m. Pokud naleznu kolo porušující první pravidlo, smažu jej a přepočítávám znovu. Jelikož vypočítávaná vzdálenost závisí na rychlosti, kola s vysokou hodnotu délky k předchozímu kolu jsou chybné, protože tato hodnota vzdálenosti je dána velmi nízkou, a tedy chybnou rychlostí. Chybná rychlost nebyla v předchozím kroku odstraněna, protože neexistovaly sousední záznamy. Tyto kola také smažu.

4.4.3 Detekce náprav

Poté, co známe rychlost všech kol a jejich vzdálenosti mezi sebou, můžeme kola rozdělit do skupin, které budou představovat nápravy. Možnosti skupin soukolí, které se vyskytují u vlakových vagónů, jsou zobrazeny na obrázku 4.7. Algoritmus nejprve prochází seznam kol vlaku a značkuje ty kola, které mají největší velikost v poměru ke svým sousedům. Taková kola označuji jako rozvor. Ovšem takto dochází k označení mezer mezi vagóny jako rozvor vagónu. Tedy počítám počty kol před a po rozvoru vagónu a přeskakují značkování těchto kol. První kola vagónu nesou informaci, jak velká je mezera mezi vagóny. Při tomto návrhu spolehlivě funguje detekce jedno, dvě a tři spřažená dvojkolí, které vidíme na obrázku 4.7a. Tyto vozy se na kolejích vyskytují většinou. Dvojvozy, které jsou zobrazeny na obrázku 4.7c, se skládají z více vozů klasických. Detekují je jako dva vagóny. Problém spočívá v detekci vozů, který nemají sudý počet kol. Tyto vozidla odpovídají nákresu na obrázku 4.7b. Pokud bude algoritmus počítat s lichými kombinacemi na vagón, není schopný určit některé kombinace po sobě jdoucích vagónů. Například, pokud pojedou za sebou dva vagóny se čtyřmi koly, které odpovídají druhému nákresu uspořádání dle obrázku 4.7a, není algoritmus schopný jej odlišit od dvou vagónů, které vzniknou spojením druhého nákresu a prvního z obrázku 4.7b. Mezera mezi vlaky může být téměř libovolná, neumím ji rozeznat od rozvoru vagónu. Obě tyto hodnoty se pohybují v řádu od 3 m do 20 m. Další problematickou kombinací je lokomotiva s třemi koly, za kterou následuje klasický vagón. Typickým představitelem těchto vozů jsou osobní vlaky LEO Express, které mají u lokomotivy kola ve vzdálenostech odpovídající nákresu na obrázku 4.7b a vagóny s dvěma koly. Mezera mezi lokomotivou a prvním vagónem odpovídá velikostí, které se vyskytují mezi dvěma dvojkolími. Rozvor prvního vagónu je pak brán jako mezera mezi vlaky. U klasických lokomotiv a nákladních vagónů k takovému problému nedochází. Detekce je spolehlivá. Návrh řešení speciálních typů a dvojvozů spočívá v detekci čísla dle Mezinárodní železniční unie a rozepisují jej v kapitole 4.4.6.



Obrázek 4.7: Ilustrace relativního umístění kol v jednotlivých typech vagónů

4.4.4 Detekce čísla nápravy dle Mezinárodní železniční unie

V této fázi známe všechny vagóny, které vlak obsahuje. Každý vagón obsahuje v sobě seznam kol a vzdálenosti mezi nimi. V této kapitole popíšeme nejdříve implementaci kamery, která se stará o získávání snímku vlaku a poté způsob, jakým hledám číslo dle Mezinárodní železniční unie pro každý vagón. Vybraná kamera Freeway od společnosti ARH Inc. nabízí výstupní rozhraní v podobě 100Mbit/sec ethernetu. Výstupním formátem je M-JPEG stream. Systém při spuštění nahrávání se připojí ke kameře na předem nastavené URL adrese a začne ukládat data. Moje implementace tohoto procesu získává pouze surová data z kamery a nesnaží se je rozčlenit na jednotlivé snímky či jiné úkony, které by potenciálně mohly zdržet chod procesu získávání dat z kamery. Tento způsob řešení byl vybrán z důvodu rychlosti získávání dat. Implementace, která daný stream rozčleňovala na jednotlivé obrázky docházelo k „slepým místům“, kdy chyběly některé snímky. Systém nestíhal, jak získávat data, tak je zpracovávat zároveň. Z těchto důvodů algoritmus nic neukládá na disk, ale pouze do připravené paměti RAM. Po skončení nahrávání je celá paměť uložena na disk. Ke čtení videa dochází až při rozpoznávání čísla dle UIC. Stream, který posílá kamera, obsahuje v hlavičce HTTP protokolu index vnitřního bufferu kamery, kde se kruhově ukládají snímky. V ukázce dat, kterou lze vidět na výpisu 4.2, je uvedena pouze část hlaviček pro zřehlednění.

Ukázka 4.2: Data z kamery - M-JPEG over HTTP stream

```
--V88Q06U965Q80248
Content-Type: image/jpeg
Content-Length: 34657
X-Timestamp: 1429875566.443
X-ARHProp-imgxsize=752
X-ARHProp-imgysize=480
X-ARHProp-imgcapmode=0
X-ARHProp-imgsize=34657
X-ARHProp-imgchannel=2
X-ARHProp-imgframeindex=617095
X-ARHProp-imgframetims=1429875566443
X-ARHProp-imgframemonotims=10296499
X-ARHProp-imgformat=2
X-ARHProp-fileext=.jpg
X-ARHProp-mimetype=image/jpeg
```

```

... binární data jpeg obrázku ...
--V88Q06U965Q80248
Content-Type: image/jpeg
Content-Length: 35371
X-Timestamp: 1429875566.460
X-ARHProp-imgxsize=752
X-ARHProp-imgysize=480
X-ARHProp-imgcapmode=0
X-ARHProp-imgsize=35371
X-ARHProp-imgchannel=2
X-ARHProp-imgframeindex=617096
X-ARHProp-imgframetims=1429875566460
X-ARHProp-imgframemonotims=10296516
... další binární data jpeg obrázku ...

```

Při zpracování videa z kamery vyparsovávám hlavičky HTTP protokolu *X-ARHProp-imgframetims* a *X-ARHProp-imgframeindex*, které slouží k časování a kontrole. Pokud čísla indexu snímků po sobě následují po jednotkách, znamená to, že systému neunikl žádný snímek z kamery. Čas, kdy byl pořízen snímek, přebírám z této hlavičky. Nevyužívám časování počítače, které je pomalé a zkreslené vlivem přenosu snímku přes LAN síť do počítače a není konstantní, naopak v čase se výrazně mění dle aktuálního vytížení sítě. Výsledkem tohoto procesu je seznam očíslovaných snímků vlaku, které obsahují časovou značku.

Dříve, než začne algoritmus hledat čísla vagónů dle UIC, musí synchronizovat časové osy jednotlivých podsystémů. Měřicí systém poskytuje přesná data a má časovou osu v mikrosekundách. Kamera je časovaná na milisekundy. Algoritmus pro vyhledání čísla dle UIC prochází jednotlivé vagóny vlaku a v časovém intervalu prvního a posledního kola zkouší nalézt toto číslo. Začíná uprostřed vagónu a postupně se blíží střídavě k levému a k pravému okraji vagónu. Implementaci založenou hledáním od středu jsem vybral proto, abych minimalizoval případné chyby v měření i časování, tedy překryvu dvou vagónů. Tento princip minimalizuje možnost chyby, pokud má vagón číselnou značku na začátku vozu a předchozí vagón na konci vozu nebo naopak.

Samotná detekce kódu probíhá pomocí externího software od firmy ARH Inc., od které využívám i kameru. Software umí rozeznávat různé typy kódů - ISO 6346, MOCO, UIC. K jádru tohoto softwaru je dodáván manuál, binding do mnoha jazyků a příklady využití v těchto jazycích. Software je rozdělen do modulů, kde každý z modulů poskytuje rozhraní pro některé z rozpoznávání, které firma nabízí. Například moduly pro rozeznávání SPZ, kontejnerů, dopravního značení, čísel vlaků, pasů a občanských průkazů a jiné. Má implementace využívá obecný modul *GX*, který poskytuje společné třídy všem ostatním modulům, například třídě *gxImage* představující kontejner pro libovolný obrázek. Dále využívám modul *ACCR* (*Automatic Container Code Recognition*), který slouží k detekci. Modul *UIC* se v nynější době sloučil s modulem *ACCR* a využívá stejné API jako modul *ACCR*. Po emailové komunikaci mi firma ARH Inc. poslala novou verzi, která funguje na takovémto společném základu. Ovládání tohoto engineu spočívá v nastavení dostupných vlastností a nakopírování obrázku do jeho struktur. Poté je možné volat funkci pro dekodování, která vrací výsledný kód a hodnotu *confidence*. Tato hodnota označuje míru důvěrnosti či jistoty správnosti vráceného výsledku. Ukázka práce s engineem, který rozeznává číselné označení dle Mezinárodní železniční unie je v ukázce 4.3. Snímky, které předávám engineu lze vidět na obrázku 4.8.

Ukázka 4.3: Ukázkový kód pro detekci označení vozidla z obrázku umístěného na disku

```
// Creates the ACCR object
cmAccr accr = new cmAccr();

// Reset the container module
accr.Reset();

// Set property timeout to 10sec
accr.SetProperty("timeout", 10000);

// Creates the image object
gxImage image = new gxImage("default");

// Load from disk
image.Load("my-test-picture.jpg");

// Add image to the module
accr.AddImage(image, 0);

// Read the code
string code = accr.ReadCode();
if (code.Length > 0)
{
    System.Console.WriteLine("Code: {0}, Confidence: {1}",
        code, accr.GetCodeConfidence());

    // Read the result of the checksum validation
    int csvalid = accr.ChecksumIsValid();
    int checksum = accr.GetChecksum();
    System.Console.WriteLine("Checksum validation result: {0}, checksum: {1}",
        csvalid, checksum);
}
else System.Console.WriteLine("No result");
```

Takto převzaté číselné kódy ukládám do struktury vagónu spolu s číslem snímku, hodnotou *confidence* a poznámkou o platnosti kontrolního čísla. Kontrolní číslo vypočítávám dle algoritmu, který je popsán v kapitole 3.5.5. Ukládám všechny nalezené kódy, i ty, které nemají správné kontrolní číslo, kvůli budoucí možnosti opravení kódu obsluhou programu. Z naměřených vlaků je patrné, že ne všechny kódy lze přečíst. Některé vlaky jsou posprejované, jiné vybledlé a těžko čitelné prostým okem. Výsledky detekce číselných kódů více rozebírám v ukázkovém vlaku v kapitole 5.2. V této kapitole jsem vycházel z [9] a [18].



(a) Kód „915473620879“

(b) Kód „338079671339“

(c) Kód „315166381311“



(d) Kód „915471502053“

(e) Kód „505420460139“

(f) Kód „378478363419“

Obrázek 4.8: Ukázka pořízených snímků vagónů s detekovanými označeními

4.4.5 Problém zastavení měření

Program na stolním počítači, který se stará o nahrávání videa z kamery a sběr dat z měření musí být plně automatizován. Jeho praktické využití tuhle automatizaci vyžaduje. Je nutné, aby systém pracovat co možná nejvíce bez zásahu uživatele. Po spuštění procesu nahrávání videa, které probíhá skrz sepnutí pinů na portu, musí program určit, kdy tento proces ukončit. Po ukončení je třeba uložit výsledné video na disk a převzít výsledky měření z měřicího systému. Po konci tohoto úkolu je možné začít data zpracovávat. Tuto úlohu řeším pomocí odhadu, protože program dostává nepřesné hodnoty ze sond. Těmi přesnými disponuje měřicí systém. Nepřesnost výskytu události na pinu sériového portu je dána všemi druhy zpoždění, které se vyskytují v operačním systému bez real-time podpory a v programu, který běží v uživatelském prostoru, tedy například přepnutí kontextu, přerušení,

page fault, atd. Algoritmus pro odhad ukončení měření pracuje s časem v řádech jednotek sekund na rozdíl od měřícího systému, který má časovou osu v $10^{-6}s$. Systém podporuje dva způsoby detekce ukončení, tedy stavu, kdy celý vlak projel.

První způsob detekce ukončení spočívá v pamatování si posledního času průjezdu přes sondy. Pokud nynější čas je větší než čas posledního průjezdu, ke kterému přičtu nějakou vhodnou konstantu, považuji celý vlak za projetý a ukončuji měření. Problém tohoto jednoduchého řešení je v závislosti zvoleného zpoždění na rychlosti vlaku. Například pokud zvolíme zpoždění na 3 s a vlak pojede velmi malou rychlostí, například 5 km/h, může se stát, že ukončíme nahrávání ještě při průjezdu vlaku (při rychlosti 5 km/h, tedy 1,4 m/s a průjezdu vagónu, který má nápravu dlouhou více jak 4,4 m)³. Pokud zvolíme zpoždění v řádu minut či desítek minut, nehrozí, že zastavíme měření dříve, ale zbytečně nahráváme vlak, který tam již není. Také je možnost průjezdu dalšího vlaku, který by se takto nevhodně napojil na již projetý vlak. Ani jedna z variant zvolení vhodného zpoždění neřeší možnosti, že vlak zastaví.

Druhý způsob spočívá v pamatování si více časů průjezdů kol. U projetých kol spočítáme jejich rychlost a dle toho odhadneme, jaké zpoždění vlaku je vhodné. Pokud pojede vlak pomalu, hodnotu zpoždění navýšíme a naopak. Zastavení detekujeme tak, že hodnota zpoždění přesáhne určitý limit. Problém tohoto řešení spočívá ve výpočtu rychlosti. Nejen, že tato rychlost není přesná je velmi nepřesná vlivem nepřesných vstupních dat, ale také se může stát, že počítáme s chybnými vstupními daty. Při takovémto výpočtu rychlosti kol nejsou odstraněny chybné vzorky, proto je nutné počítat s více posledními koly a vypočítat průměr. A také nebrat v potaz rychlosti, které se vymykají průměru, tak jak je to řešeno při samotné detekci kol v kapitole 4.4.2 a v kapitole 4.4.1 zabývající se zpracováním vstupních dat.

4.4.6 Závěr implementace - zhodnocení

Algoritmy, které jsem navrhl a implementoval, a na základě sesbíraných dat z testů následně poupravil, pracují správně pro většinu vagónů, které se vyskytují na železnici. Problém s detekcí speciálních vozů a dvojvozů lze řešit pomocí detekovaného čísla dle UIC. Pokud bude kód označovat určitou kategorii vozu anebo pokud bude tato série vozů dle databáze zapamatována, systém bude znát rozložení a počet kol ve vagónu. Může tedy poupravit chybné seskupení kol v jednotlivých vagónech. Princip učení se na základě projetých vlaků bych rád vytvořil i na úrovni vzdáleností kol mezi sebou. Postupně by vznikla databáze, ve které by se vyskytovaly již projeté vlaky a jejichž správnost by potvrzovala obsluha programu. V další kapitole uvedu, v jakém prostředí byl systém testován a v kapitole poslední shrnu výsledky testů, které tento systém dosáhl.

³Pozn.: Typická náprava nákladního vagónu má okolo 12 m, lokomotivy okolo 6 m.

Kapitola 5

Vyhodnocení

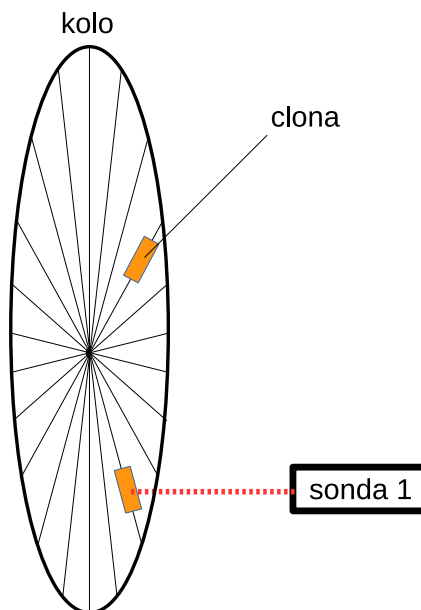
V této kapitole prokáži funkčnost systému na datech z reálného provozu. Uvedu a popíši způsoby, kterými jsem testoval systém. Konkrétně uvedu způsob testování systému v laboratoři a testy, které jsem prováděl reálných podmínkách na trati.

5.1 Prostředí testů

Po implementaci a verifikaci systému bylo nutné systém jako celek otestovat. Při každém testu jakéhokoli systému je důležité, aby prostředí, v němž testujeme, co nejvíce odpovídalo prostředí, ve kterém bude systém reálně běžet. Rozhodl jsem se pro dvě metody testování. Prvně testovat systém v laboratoři a následně jej otestovat v reálných podmínkách na trati.

Prostředí laboratoře jsem uzpůsobil pro test systému tak, aby co nejvíce kopírovalo realitu vlakové trati. Simulace průjezdu vlaku probíhala pomocí kola vyjmutého ze silničního kola. Kolo bylo upevněno do svěráku. Na dvě pružiny od kola jsem nalepil clonu (papírové indikátory o velikost 2 x 4 cm), to jest takové velikosti, aby jej senzor snímal. Senzor byl umístěn kolmo ke kolu. Při ručním roztočení kola senzor detekoval projíždějící papírek a zároveň ignoroval ostatní pružiny kola, kde papírek připevněn nebyl. Náčrt principu lze vidět na obrázku 5.1.

Výsledkem testů bylo seznámení se ze snímacím přístrojem, zaznamenáváním dat a funkčnosti senzorů. V laboratorních podmínkách senzory fungovaly bezproblémově. Sepnutí a rozeptnutí korespondovalo s aktuální pozicí clony.



Obrázek 5.1: Náčrt principu testování v laboratoři

Další testování probíhalo přímo na trati. Hlavním důvodem těchto testů bylo ověření, zda senzory budou detekovat průjezd kola i v podmínkách vlakové trati. To znamená v prostředí, kde se vyskytují všemožné bludné proudy, magnetismus a jiné. Nutné také bylo ověřit dostatečnou rychlost přepínání výstupu senzoru a přesnost RT systému. K tomuto účelu byla vybrána trať Břeclav – Přerov. Průběh testu odpovídal reálnému nasazení. Rozdíl spočíval v tom, že na rozdíl od uživatele, který by viděl výsledky po průjezdu vlaku, jsem já tyto výsledky analyzoval na terminálu. Pro kontrolu počtu kol a následnou kontrolu počtu kol v jednom vagónu, byly všechny testy zaznamenány externí kamerou. Kamera mířila na trať tak, aby zabrala celé horizontální zorné pole části jednoho vagónu. Při zpomaleném prohlížení těchto záznamů vidím celkové uskupení vlaku, jeho vagóny a kola těchto vagónů. Tyto prostředky jsou nutné pro zpětnou analýzu a kontrolu měření RT systému.

Vzdálenost mezi senzory byla 1 m a senzory byly umístěny vedle kolejí tak, aby laser mířil 10 cm nad kolejnici a zároveň bylo zachováno měřicí rozpětí do 15 cm od koleje. Důvodem takového nastavení rozsahu senzorů je, aby se minimalizovala možnost chyby u speciálních kol s otvory. Otvory v kolech způsobují vícenásobné přepnutí sondy, což je nežádoucí. Vzdaľenost mezi kolejnicí a začátkem otvoru v kole jsem získal měřením existujících kol vlaků. Čím menší hodnotu zvolíme, tím kratší bude systém dostávat signály. Zvolením malé vzdálenosti riskujeme, že senzor takto krátké zastínění nezaregistruje, a tudíž dané kolo nebude v systému zaznamenáno.

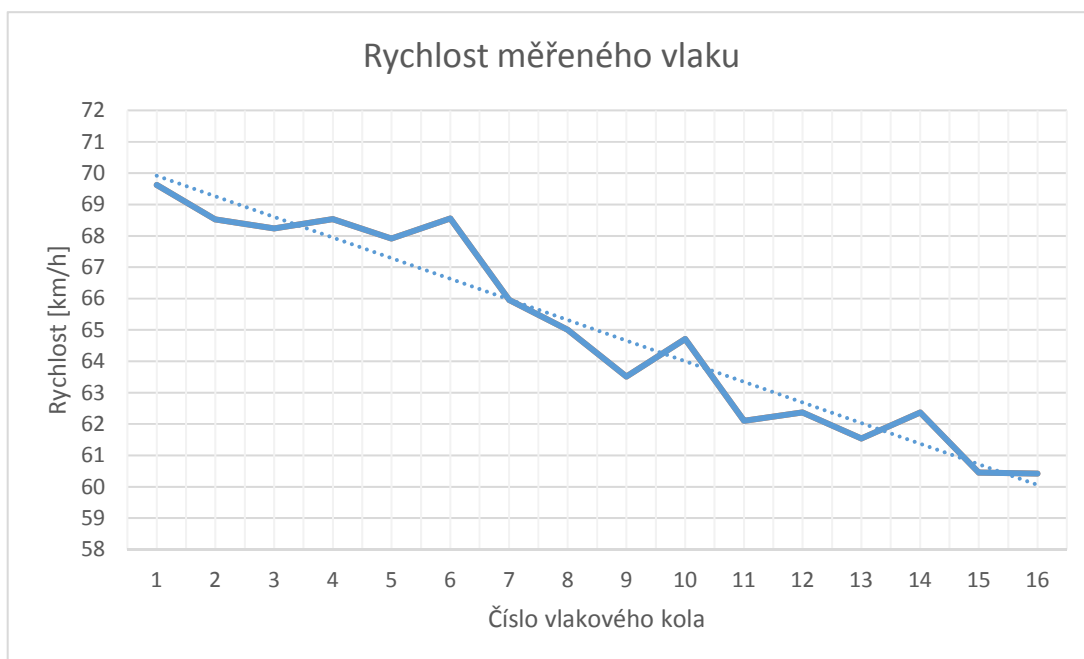
Při dalších testech jsem vyměnil kontrolní kameru umístěnou dále od vlaku za průmyslovou kameru Freeway od firmy ARH Inc. Tato kamera zaznamenává projíždějící vlak a slouží následně k detekci čísel pro vagóny. Kamera byla umístěna mezi sondy a co nejvíce kolmo k projíždějícím vlakům, tak jak ukazuje obrázek 4.1 v kapitole vysvětlující zapojení systému. Kolmý úhel je žádoucí pro externí OCR software.

V následující kapitole uvedu výsledky, které se mi podařilo získat pomocí takto provedených testů na trati Břeclav – Přerov. Měření probíhalo u opuštěného přejezdu nedaleko Říkovic.

5.2 Vyhodnocení reálných testů na trati

V této kapitole ukážu výsledky, které se mi podařilo naměřit a zpracovat na trati Břeclav – Přerov. Měření probíhalo nedaleko Říkovic. V první fázi testování, kdy systém ještě neměl naimplementovanou podporu pro kameru snímající průjezd a také pro detekci čísla vagónu dle UIC, jsem testoval rychlost a správnost RT systému. V druhé fázi testů uvádím data, které obsahují i snímky z kamery a kódy vagónů.

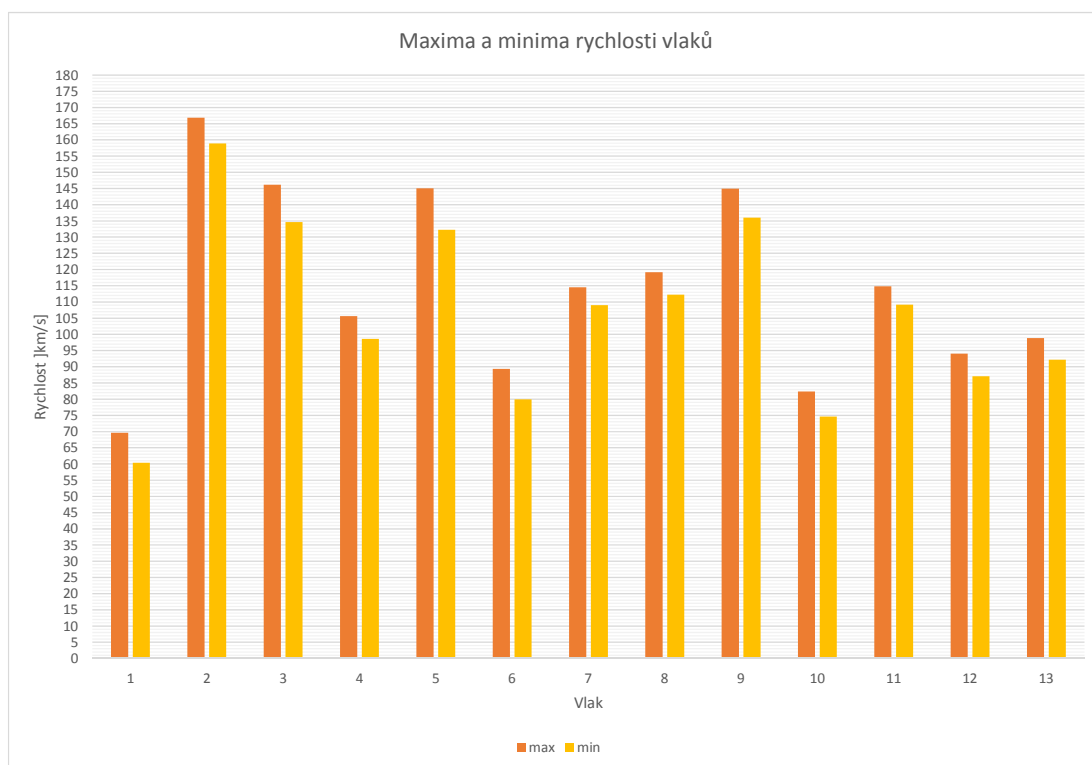
V první fázi se mi povedlo zachytit šestnáct projíždějících vlaků, jak vlaky osobní, tak vlaky nákladního typu. Některé vlaky v této práci neukazuji, protože jsou to krátké převozy lokomotiv jako například dvě lokomotivy, kdy jedna přesouvá pouze druhou. Ukázkový graf vývoje rychlosti vlaku:



Obrázek 5.2: Graf vývoje rychlosti vlaku

Na grafu vidíme vývoj rychlosti jednotlivých kol vlaku. Jedná se o stejný vlak, který je zpracován v kapitole 4.4.1 na obrázku 4.6. V příloze A (v tabulce A.2) uvádím surová data vlaku. V mé práci беру celkovou rychlost vlaku jako průměr rychlostí jednotlivých kol, což je nepřesné například v době, kdy vlak zrychluje nebo zpomaluje. Z grafu lze vyčíst, že vlak zpomaluje. Výchyly rychlostí kol jsou dány nepřesností jak využitých senzorů, tak RT systému. Problém vyhodnocení přesnosti spočívá ve faktu, že žádný vlak nezpomaluje či nezrychluje lineárně. Navíc žádný vlak nejede po celou dobu měření konstantní rychlostí. I přesto lze říci, že například kolo č. 6 je nepřesné, odchyluje se nejvíce od lineární přímky, které zde reprezentuje lineární zpomalení vlaku.

Dalším parametrem ukazující přesnost měření je rozdíl rychlosti kola nejpomalejšího a kola nejrychlejšího. Rozdíl rychlostí by měl s vyšší rychlostí vlaku stoupat, protože měření je zatíženo větší chybou.



Obrázek 5.3: Graf maximálních a minimálních rychlostí kol vlaku

Na grafu vidíme, že rozdíl maximální a minimální rychlosti kol vlaku se zvyšující se rychlostí vlaku nevykazuje stoupající tendenci. Tento problém by nastal až ve chvíli, když by vestavěný systém nedokázal tak rychle reagovat. Rozdíl nejrychlejšího a nejpomalejšího kola se pohybuje v rozsahu 5 km/h až 12 km/h.

Ve druhé fázi testování se mi podařilo zachytit dvaadvacet vlaků. Umístění kamery a její nastavení je stěžejní pro detekci čísel dle UIC. V následujících odstavcích uvedu a rozeberu kompletní výsledky měření jednoho vlaku, jeho naměřená data uvádím v tabulce A.1. Další takto zpracovaný vlak, který je ovšem výrazně delší, uvádím v příloze B.

Měřený vlak má 32 kol a rychlosti jednotlivých kol a zejména vzdálenosti kol od sebe lze vidět v tabulce 5.1. Rychlost je vypočítána z rozdílu naměřených časů od a do. Sloupec rozdílu udává délku průjezdu daného kola. Poslední sloupec udává výsledek algoritmu, který určuje, zda-li toto kolo ve vztahu k předchozímu je rozvor vagónu. Tento vlak se tedy skládá z vagónů, jejichž rozvor je 5,5 metrů a jsou spojeny tak, že mezi nimi je mezera přes 3 metry. Výjimkou je první vůz, ten má rozvor přes 4 metry a spojnice k dalšímu je delší, má téměř 4 metry.

Kolo	Čas od [μs]	Čas do [μs]	Rozdíl časů [μs]	Rychlost [km/h]	Vzdálenost [m]	Rozvor
1	1125980589	1126054670	74081	48,5955	0,0000	Ano
2	1126159977	1126234078	74101	48,5823	2,4209	
3	1126479342	1126552395	73053	49,2793	4,3717	
4	1126658730	1126732292	73562	48,9383	2,4386	
5	1126950996	1127024546	73550	48,9463	3,9737	Ano
6	1127100935	1127173169	72234	49,8380	2,0757	
7	1127506821	1127580413	73592	48,9184	5,5154	
8	1127653341	1127728474	75133	47,9150	1,9501	
9	1127897464	1127970756	73292	49,1186	3,3308	Ano
10	1128044251	1128118317	74066	48,6053	1,9818	
11	1128449085	1128523157	74072	48,6014	5,4654	
12	1128597711	1128670465	72754	49,4818	2,0429	
13	1128840781	1128912728	71947	50,0368	3,3785	Ano
14	1128985978	1129060310	74332	48,4314	1,9534	
15	1129390568	1129464106	73538	48,9543	5,5018	
16	1129538658	1129611427	72769	49,4716	2,0351	
17	1129776460	1129848677	72217	49,8498	3,2929	Ano
18	1129921929	1129995718	73789	48,7878	1,9714	
19	1130325192	1130397145	71953	50,0327	5,6045	
20	1130469871	1130542875	73004	49,3124	1,9818	
21	1130707677	1130780148	72471	49,6750	3,2814	Ano
22	1130852352	1130925355	73003	49,3130	1,9818	
23	1131254050	1131326771	72721	49,5043	5,5238	
24	1131400036	1131472241	72205	49,8580	2,0218	
25	1131636524	1131708726	72202	49,8601	3,2754	Ano
26	1131780684	1131852351	71667	50,2323	2,0115	
27	1132180794	1132252465	71671	50,2295	5,5826	
28	1132325471	1132397136	71665	50,2337	2,0188	
29	1132559319	1132632041	72722	49,5036	3,2156	Ano
30	1132704009	1132776192	72183	49,8732	2,0045	
31	1133102792	1133173404	70612	50,9828	5,6475	
32	1133245884	1133317821	71937	50,0438	1,9891	

Tabulka 5.1: Seznam kol vlaku a jejich parametry

Vidíme, že nedochází k žádné změně v rychlosti. Nejrychlejší vlakové kolo jede rychlostí 50,9 km/h a nejpomalejší 47,9 km/h. Naměřená data se rozcházejí o 3 km/h. Tato odchylka je zanedbatelná, protože se jedná řádově o centimetry v rámci posunutí kol. To může způsobovat i upevnění kol na čepech, které nutně musí mít nějakou vůli. Dalším krokem ve zpracování vlaku je rozdělení na jednotlivé vagóny a nalezení čísel těchto vagónů. Výsledek vidíme v tabulce 5.2.

Počet kol	Délka vagónu [m]	Rozsah času [μs]	Nalezená značka
Vagon č. 1	4 kola	9,2311	000000000-000751703
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 31, 32, 33, 34.			

Vagon č. 2	4 kola	9,5412	000970407-001747885	335669950107
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 95, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59.				
Vagon č. 3	4 kola	9,4901	001916875-002689876	335669950016
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 151, 152, 119, 118, 117, 116.				
Vagon č. 4	4 kola	9,4902	002860192-003630838	335669950057
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 203, 204, 205, 207, 208, 209, 178, 177, 176, 175, 174, 173.				
Vagon č. 5	4 kola	9,5577	003795871-004562286	835469929524
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 257, 259, 260, 261, 262.				
Vagon č. 6	4 kola	9,5274	004727088-005491652	835469928823
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 312, 313, 314, 315, 321, 322, 290, 289, 288, 287, 286, 285.				
Vagon č. 7	4 kola	9,6129	005655935-006416547	335669950032
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 368, 369, 370, 371, 374, 375, 377, 346, 378, 345, 344, 343, 342.				
Vagon č. 8	4 kola	9,6411	006578730-007337232	835469928815
Seznam čísel snímků, na kterých byl kód nalezen: 423, 425, 426, 427, 428.				

Tabulka 5.2: Seznam vagónů a jejich parametry

Z tabulky vyplývá, že rozdělení do vagónů proběhlo správně. Vlak má tedy osm vozů. První vůz je lokomotiva. Vyplývá to ze začátku detekovaného čísla „925427424088“. Vlak pokračuje sedmi nákladními vozy. Struktura a význam jednotlivých čísel z celého kódu dle UIC popisují v kapitole 3.5. Náhledy obrázků, ze kterých byla přečtena čísla vozů, uvádím na obrázku 5.4 pro lokomotivu a 1. vagón, 5.5 pro vagón 3., 5.6 pro vagón 4., 5.7 pro vůz 5. a 6., 5.8 pro vůz 7. a 8. Z tabulky a obrázků lze vidět, že nápisy jsou umístěny na dvou místech. Například na druhém vagóně se první číslo vyskytuje v místech čísla snímku 59 až 65 a druhé na 95. snímku. Snímky okolo 95. snímku nebyly přečteny správně nebo nesouhlasil kontrolní součet na poslední číslici. Konkrétně u 94. snímku došlo k záměně čísel „9“ a „0“. Tyto snímky zde neuvádím. Také vidíme, že čísla snímků, ze kterých byl kód čitelný, například ve vagónu č. 8, nemají vždy posloupnost, ale mají mezery. Z obrázku 424 na vagóně č. 8 nebyl přečten správně kód i přesto, že okolní snímky systém přečetl správně.

Je patrné, že každý vagón má více jak jeden obrázek, ze kterého lze číst kód. Toto byl požadavek na rychlost kamery, popř. i její umístění, abych minimalizoval možnost chybného či žádného označení vagónu. Z obrázků a tabulky vidíme, že ke každému vagónu systém našel čísla dle Mezinárodní železniční unie a také to, že nikdy nezašel v hledání za hranice aktuálně prohledávaného vagónu. Čísla jsou umístěna na přední a zadní části vagónů. Umístění na začátku vagónu je pravděpodobně starší, protože vypadá vybledleji. Novější nápis čísla, včetně abecedních znaků, je umístěn větším a výraznějším písmem. Problémy s detekcí čísel dle UIC byly z důvodů chybně nastavené kamery nebo posprejovaného kódu či snímky byly vybledlé do takové míry, že i člověk má problém s jejím přečtením. Takové snímky uvádím na obrázku 5.9.



(a) Snímek 33 - kód „925427424088“ (b) Snímek 64 - kód „335669950107“ (c) Snímek 95 - kód „335669950107“

Obrázek 5.4: Ukázka pořízených snímků (vagón č. 1 a č. 2)



(a) Snímek 33 - kód „335669950016“ (b) Snímek 151 - kód „335669950016“

Obrázek 5.5: Ukázka pořízených snímků (vagón č. 3)



(a) Snímek 177 - kód „335669950057“ (b) Snímek 203 - kód „335669950057“

Obrázek 5.6: Ukázka pořízených snímků (vagón č. 4)



(a) Snímek 259 - kód „835469929524“ (b) Snímek 289 - kód „835469928823“ (c) Snímek 314 - kód „835469928823“

Obrázek 5.7: Ukázka pořízených snímků (vagón č. 5 a č. 6)



(a) Snímek 344 - kód „335669950032“



(b) Snímek 369 - kód „335669950032“



(c) Snímek 426 - kód „335669950107“

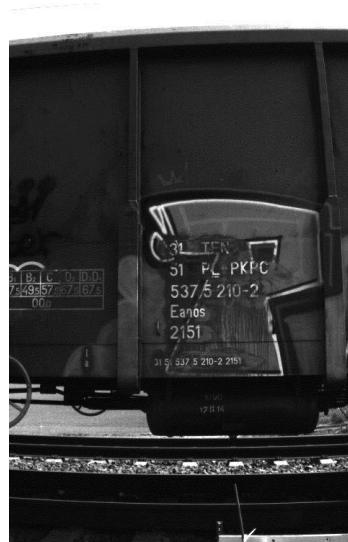
Obrázek 5.8: Ukázka pořízených snímků (vagón č. 7 a č. 8)



(a) Rozmazané, neostře, nečitelné pro rozpoznání kódu



(b) Vybledlé, špatný kontrast bílé



(c) Posprejovaný vagón - chybný kód „315537521022“

Obrázek 5.9: Ukázka chybně pořízených snímků

Procentuální úspěšnost celého systému shrnuje tabulka 5.3. Vidíme, že na daném vzorku 24 vlaků, systém rozpoznal správně všechna kola 22 vlaků. U dvou vlaků došlo k chybě vlivem posunutí měřicích sond. Detekce vlakových vagónů byla úspěšná téměř na 91% z 22 vlaků, tedy u těch, u kterých proběhlo správné rozpoznání kol. Dva vlaky měly nestandardní rozmístění kol, obsahovaly vozy s lichými počty kol. Systém našel správně 78,57% čísel vagónů dle UIC z 15 vlaků. Pět vlaků zde nezapočítávám, protože byla u nich nevhodně nastavená kamera a jejich úspěšnost čtení je nulová. Těchto 15 vlaků dohromady obsahovalo 168 vagónů.

Tabulka 5.3: Shrnutí úspěšnosti systému

Činnosti	Vzorek	Úspěšnost	Poznámky
Detekce kol	24 vlaků	91,67%	U dvou vlaků došlo k posunu sond
Detekce vagónů	22 vlaků	90,91%	Dva chybné vlaky LEO Express
Určení čísla vagónu	168 vagónů	78,57%	Nezapočítávám zde pět vlaků, kde je nulová úspěšnost kvůli chybně nastavené kameře

Problémy při testování na trati byly pouze dočasného rázu. Například po průjezdu sledovaného vlaku, který byl naložen kamením, se mírně rozladily sondy. Je to dáno tím, že průjezd samotného vlaku vydává otřesy do půdy, ve které jsem měl zakotveny měřicí senzory. Stačí je těmito otřesy posunout nepatrně v řádu desítek milimetrů a měření je zatíženo jednotkovou procentuální chybou. Dalším problémem je, že sondy byly umístěny v nestejně horizontální pozici, protože povrch u koleje mírně stoupal. I když mířily na stejné místo a braly stejný rozsah vzdáleností před a za kolejemi, v reálném provozu musí být srovnány i v horizontální hladině. Tyto problémy se dají odstranit zabetonováním sond do země. Tak bychom dostali přesně stejné obě sondy, jen posunuté mezi sebou o jeden metr. Odchyšky a nepřesnosti u vlaků, které jsem naměřil a zpracoval, hodnotím kladně. Nepřesnost by se mohla zmenšit například výběrem jiného typu senzoru, který má stejné vlastnosti ovšem s kratší reakční dobou.

Kapitola 6

Závěr

Cílem práce bylo nastudovat senzory, které jsou vhodné k detekci projíždějícího kola. Na bázi těchto senzorů jsem navrhl způsob, jak zaznamenávat přesný čas průjezdů jednotlivých kol vlaku. Dále jsem vytvořil algoritmus, který by z těchto záznamů detekoval jednotlivé nápravy. Tyto dílčí úkoly jsem postupně provedl. Nejdříve jsem vybral a otestoval vhodné senzory pro detekci průjezdu kola. Následně jsem vybral jeden senzor, který jsem využíval v dalších fázích práce. Vytvořil jsem dvě řešení, která implementují zaznamenávání událostí na základě toho, co generují senzory. Vybral jsem si modul jádra proto, že je založen na přerušení a nemusí aktivně čekat pomocí smyčky na událost. Obě tyto aplikace jsem verifikoval pomocí nízkofrekvenčního generátoru tvarových kmitů GPZ5533. Dále jsem navrhl a implementoval prototyp programu, který na základě záznamu o průjezdu vlaku vytvoří seznam vlakových kol a následně vagónů, které se vyskytují ve vlaku. Do systému jsem přidal externí kameru, která zaznamenává průjezd vlaku, a externí software pro rozpoznávání čísla dle Mezinárodní železniční unie. Pomocí tohoto softwaru každému vagónu přiřadím číslo UIC. V poslední fázi práce jsem tento systém otestoval na vlakové trati a výsledky demonstрую v poslední kapitole. Testování probíhalo jak pro kompletní systém, tak pro jednotlivé, již hotové, části systému.

Prokázal jsem, že systém pracuje správně, plní činnost v takovém rozsahu a v takové přesnosti, která je po něm požadovaná. Prostor pro vylepšení se vyskytuje podle mého názoru v implementaci vlastnosti, která by na základě rozpoznání čísla dle UIC upravila chybně vzniklé vagóny u speciálních typů vlakových vagónů, a také ve výměně senzoru za jemu podobný, avšak s kratší reakční dobou. Využívaný senzor pro měření má 10 ms reakční dobu odezvy, neboli dobu vybavení. Myslím, že systém je prakticky využitelný, a po vytvoření grafického uživatelského rozhraní, které by umožňovalo obsluhu upravovat projeté vlaky ručně, i připravený na nasazení v reálném provozu. K takovému využití bude ještě potřeba ke každému vlaku zakomponovat, zejména do grafického rozhraní programu, jeho dovozce, cílového zakazníka, objednavatele a jiné obchodní databázové položky.

Literatura

- [1] VOJÁČEK, Antonín. Volba vhodného snímače / detektoru přítomnosti objektů. *Automatizace.HW.cz* [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/volba-vhodneho-snimace-detektoru-pritomnosti-objektu.html>
- [2] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis. *Automatizace.HW.cz* [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [3] Selet Indukční snímače - co je potřeba vědět pro správnou volbu. *OEM Automatic* [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elektricke_stroje/Indukni_snimae/Zasady_indukni_detekce_kivky_detekce_a_znaeni/Selet_Indukni_snimae_-_co_je_poteba_vdt_pro_spravnou_volbu/604954-603767.html
- [4] VOJÁČEK, Antonín. Optické senzory přiblížení - obecný popis. *Automatizace.HW.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [5] Optické senzory pro měření vzdálenosti. *Měření optických snímačů* [online]. 2007 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/opticke_snimace/optika_vzdalenost.htm
- [6] SCHWARZ, J., RŮŽIČKA, R., STRNADEL, J.: *Mikroprocesorové a vestavěné systémy, studijní opora*. Brno, FIT VUT v Brně, 2006.
- [7] RPi Hardware. *Embedded Linux Wiki* [online]. 2014, 2014-07-16 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://elinux.org/RPi_Hardware
- [8] STRNADEL, J.: *Real-time operační systémy, studijní opora*. Brno, FIT VUT v Brně, 2006.
- [9] ANPR/LPR based traffic monitoring camera — FreewayCAM. *OCR and data processing for traffic and ID — ARH Inc.* [online]. ARH, 2015 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.arh.hu/index.php/en/products/cameras-sensors/freewaycam>
- [10] Konvenční železniční systém - TSI. *Ministerstvo dopravy* [online]. 2006, 20.1.2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Drazni_doprava/Evropska_unie_na_zeleznici/Interoperabilita/TSIkonvencni.htm

- [11] Úřední věstník Evropské unie: Rozhodnutí komise o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – nákladní vozy“ transevropského konvenčního železničního systému. In: *2006/861/ES*. 2006. Dostupné z: <http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/93A84524-4CE6-4A7D-8477-158717F9175E/0/32006D0861naklvozy.pdf>
- [12] Rozhodnutí komise o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se subsystému „Provoz a řízení dopravy“ transevropského konvenčního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropské unie 2006/920/ES*. Brusel, 2006.
- [13] Rozhodnutí komise kterým se přijímá společná specifikace celostátního registru vozidel stanoveného podle čl. 14 odst. 4 a 5 směrnic 96/48/ES a 2001/16/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie 2007/756/ES*. Brusel, 2007.
- [14] Rozhodnutí komise, kterým se mění rozhodnutí 2006/861/ES a 2006/920/ES o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystémů transevropského konvenčního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropské unie 2009/107/ES*. 2009.
- [15] Rozhodnutí komise, kterým se mění rozhodnutí 2006/920/ES a 2008/231/ES o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se subsystému „Provoz a řízení dopravy“ transevropského konvenčního a vysokorychlostního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropské unie 2010/640/EU*. 2010.
- [16] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/50/ES kterou se mění směrnice Rady 96/48/ES o interoperabilitě transevropského vysokorychlostního železničního systému a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/16/ES o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropské unie 881/2004/ES*. 2004.
- [17] Rozhodnutí komise o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se subsystému „provoz a řízení dopravy“ železničního systému v Evropské unii a o změně rozhodnutí 2007/756/ES. In: *2012/757/EU*. 2012.
- [18] INTELLIGENT OCR CONTROLLED RAILWAY MANAGEMENT — CARMEN Code UIC. *OCR and data processing for traffic and ID — ARH Inc.* [online]. ARH, 2015 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.arh.hu/index.php/en/products/software/carmen-uic-software>
- [19] Označení železničních vozů. ZÍTKO, Martin. *Vagóny - technická řešení* [online]. 2010 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/vagony/oznaceni.html>
- [20] Operation and traffic management - HS OPE TSI. *ERA - Home* [online]. 12.3.2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/HS-OPE-TSI.aspx>
- [21] Commission Decision on adopting a common specification of the national vehicle register (NVR Decision). *ERA - Home* [online]. 12.3.2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/Decision-NVR.aspx>
- [22] FU, Luotao a Robert SCHWEBEL. RT PREEMPT HOWTO. *RT PREEMPT HOWTO - RTwiki* [online]. 2014, 2014-03-07 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: https://rt.wiki.kernel.org/index.php/RT_PREEMPT_HOWTO

- [23] CORBET, Jonathan. *Linux device drivers* [online]. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005, xviii, 615 s. [cit. 2015-01-06]. ISBN 05-960-0590-3. Dostupné z: <http://www.makelinux.net/ldd3/>
- [24] BROADCOM. *BCM2835 ARM Peripherals*. [online] 2012. Dostupné z: <http://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2835/BCM2835-ARM-Peripherals.pdf>

Seznam obrázků

2.1	Ilustrace základního konceptu zapojení	4
3.1	Indukční snímač IM30	8
3.2	Optický senzor DS30-P1241	9
3.3	Ukázka hledaných kódů	14
3.4	Převod mezi písmeny a čísly	18
4.1	Ilustrace schématu zapojení	20
4.2	Zapojení převodníku napětí	21
4.3	Nízkofrekvenční generátor tvarových kmitů GPZ5533	24
4.4	Ilustrace rozdílů časů u signálů	26
4.5	Zobrazení binárních signálů v čase	27
4.6	Ukázka zpracovaného vlaku	28
4.7	Ilustrace relativního umístění kol v jednotlivých typech vagónů	30
4.8	Ukázka pořízených snímků vagónů s detekovanými označeními	33
5.1	Náčrt principu testování v laboratoři	36
5.2	Graf vývoje rychlosti vlaku	37
5.3	Graf maximálních a minimálních rychlostí kol vlaku	38
5.4	Ukázka pořízených snímků (vagón č. 1 a č. 2)	41
5.5	Ukázka pořízených snímků (vagón č. 3)	41
5.6	Ukázka pořízených snímků (vagón č. 4)	42
5.7	Ukázka pořízených snímků (vagón č. 5 a č. 6)	42
5.8	Ukázka pořízených snímků (vagón č. 7 a č. 8)	43
5.9	Ukázka chybně pořízených snímků	43
B.1	Ukázka pořízených snímků	57
C.1	Rozhraní aplikace	58
C.2	Rozhraní aplikace - kola vlaku	59
C.3	Rozhraní aplikace - vozy vlaku	59

Seznam tabulek

3.1	Vybrané parametry kamery FreewayCAM	12
3.2	Typy hnacích kolejových vozidel a jednotek ve vlakové soupravě v pevně nebo předem definované formaci	15
3.3	Vybrané kódy zemí, ve kterých je vůz registrován	15
3.4	Ukázka hodnot 5. a 6. číslice u vozidel tažených pro cestující (typ vozidla) .	16
3.5	Ukázka hodnot 7. a 8. číslice u vozidel tažených pro cestující	17
3.6	Kategorie nákladních vozů	18
3.7	Vybraná indexová písmena vozu kategorie „F“	18
4.1	Výsledky měření odezev RT aplikace	25
4.2	Výsledky měření odezev jaderného modulu	25
5.1	Seznam kol vlaku a jejich parametry	39
5.2	Seznam vagónů a jejich parametry	40
5.3	Shrnutí úspěšnosti systému	44
A.1	Tabulka surových dat vlaku	52
A.2	Tabulka naměřených rychlostí kol ve vlaku	53
B.1	Seznam kol vlaku a jejich parametry	56
B.2	Seznam vagónů a jejich parametry	56

Seznam ukázkových kódů

4.1	Nastavení systému (/etc/rc.local)	23
4.2	Data z kamery - M-JPEG over HTTP stream	30
4.3	Ukázkový kód pro detekci označení vozidla z obrázku umístěného na disku .	32

Příloha A

Tabulky naměřených dat vlaků

pin 22	čas [μs]	pin 17	čas [μs]
1	1125980589	1	1126054670
0	1126029397	0	1126102156
1	1126159977	1	1126234078
0	1126221151	0	1126293929
1	1126479342	1	1126552395
0	1126528125	0	1126600651
1	1126658730	1	1126732292
0	1126717522	0	1126778201
1	1126743433	1	1126816468
0	1126759613	0	1126831599
1	1126950996	1	1127024546
0	1126997683	0	1127069926
1	1127100935	1	1127173169
0	1127146043	0	1127218026
1	1127506821	1	1127580413
0	1127553254	0	1127625230
1	1127653341	1	1127728474
0	1127701100	0	1127773590
1	1127897464	1	1127970756
0	1127942838	0	1128014552
1	1128044251	1	1128118317
0	1128090684	0	1128162426
1	1128449085	1	1128523157
0	1128495247	0	1128566694
1	1128597711	1	1128670465
0	1128643090	0	1128714535
1	1128840781	1	1128912728
0	1128885627	0	1128957593
1	1128985978	1	1129060310
0	1129033201	0	1129104902
1	1129390568	1	1129464106
0	1129436988	0	1129507901
1	1129538658	1	1129611427

0	1129583774	0	1129654944
1	1129776460	1	1129848677
0	1129822627	0	1129894069
1	1129921929	1	1129995718
0	1129968888	0	1130040590
1	1130325192	1	1130397145
0	1130370849	0	1130442262
1	1130469871	1	1130542875
0	1130516828	0	1130588257
1	1130707677	1	1130780148
0	1130753582	0	1130824486
1	1130852352	1	1130925355
0	1130899308	0	1130969950
1	1131254050	1	1131326771
0	1131300205	0	1131371116
1	1131400036	1	1131472241
0	1131445942	0	1131516836
1	1131636524	1	1131708726
0	1131681637	0	1131752268
1	1131780684	1	1131852351
0	1131826576	0	1131897734
1	1132180794	1	1132252465
0	1132225372	0	1132295511
1	1132325471	1	1132397136
0	1132370066	0	1132440409
1	1132559319	1	1132632041
0	1132605524	0	1132676108
1	1132704009	1	1132776192
0	1132750433	0	1132820258
1	1133102792	1	1133173404
0	1133147390	0	1133217996
1	1133245884	1	1133317821
0	1133291800	0	1133362412

Počet logických „1“ na pinu 17: 33

Počet logických „1“ na pinu 22: 33

Tabulka A.1: Tabulka surových dat vlaku

pin 17	čas [μs]	pin 22	čas [μs]	rychlost [km/h]
0	2275088365	0	2275088376	
1	2418991336	1	2418939630	69,62441
0	2419053305	0	2419001894	
1	2419184451	1	2419131917	68,52705
0	2419240629	0	2419189153	
1	2419439569	1	2419386815	68,24127
0	2419499437	0	2419447741	
1	2419632422	1	2419579894	68,53488

0	2419691458	0	2419638741	
1	2419908318	1	2419855307	67,91043
0	2419943456	0	2419890711	
1	2420050923	1	2419998409	68,55315
0	2420087089	0	2420033284	
1	2420967349	1	2420912765	65,95339
0	2421005402	0	2420950015	
1	2421116247	1	2421060864	65,00190
0	2421152950	0	2421098370	
1	2421389804	1	2421333124	63,51447
0	2421427048	0	2421371680	
1	2421538957	1	2421483324	64,70979
0	2421577550	0	2421521619	
1	2422502497	1	2422444527	62,10109
0	2422541841	0	2422484121	
1	2422658747	1	2422601022	62,36466
0	2422698357	0	2422639846	
1	2422943103	1	2422884601	61,53636
0	2422983006	0	2422924494	
1	2423100930	1	2423043210	62,37006
0	2423141327	0	2423082560	
1	2424002146	1	2423942592	60,44934
0	2424043331	0	2423982714	
1	2424164985	1	2424105403	60,42093
0	2424206409	0	2424145545	

Tabulka A.2: Tabulka naměřených rychlostí kol ve vlaku

Příloha B

Ukázka projetého vlaku

Kolo	Čas od [μs]	Čas do [μs]	Rozdíl časů [μs]	Rychlost [km/h]	Vzdálenost [m]	Rozvor
1	10651297033	10651334597	37564	95,8364	0,0000	Ano
2	10651390679	10651428767	38088	94,5180	2,4587	
3	10651650581	10651688662	38081	94,5353	6,8250	
4	10651745043	10651783622	38579	93,3150	2,4485	
5	10651913366	10651950403	37037	97,2001	4,5447	Ano
6	10651983349	10652021980	38631	93,1894	1,8116	
7	10652357425	10652395752	38327	93,9286	9,7601	
8	10652427371	10652465978	38607	93,2473	1,8117	
9	10652556803	10652595135	38332	93,9163	3,3766	Ano
10	10652627818	10652665921	38103	94,4807	1,8638	
11	10652947955	10652986838	38883	92,5854	8,2333	
12	10653018466	10653057348	38882	92,5878	1,8135	
13	10653173671	10653211990	38319	93,9482	4,0503	Ano
14	10653243888	10653282523	38635	93,1798	1,8174	
15	10653576915	10653614228	37313	96,4811	8,9252	
16	10653646887	10653685782	38895	92,5569	1,7990	
17	10653817385	10653856477	39092	92,0905	4,3615	Ano
18	10653888935	10653926437	37502	95,9949	1,9079	
19	10654251382	10654289979	38597	93,2715	9,3905	
20	10654321354	10654359457	38103	94,4807	1,8364	
21	10654465512	10654503323	37811	95,2104	3,8126	Ano
22	10654535745	10654574363	38618	93,2208	1,8187	
23	10654795667	10654835282	39615	90,8747	6,5612	
24	10654867194	10654904726	37532	95,9181	1,9058	
25	10655011617	10655048913	37296	96,5251	3,8723	Ano
26	10655081319	10655120692	39373	91,4332	1,7703	
27	10655387778	10655425832	38054	94,6024	8,0533	
28	10655459062	10655497118	38056	94,5974	1,8731	
29	10655603239	10655641823	38584	93,3029	3,7367	Ano
30	10655673976	10655712070	38094	94,5031	1,8569	
31	10655995446	10656033481	38035	94,6497	8,4520	

32	10656066453	10656104244	37791	95,2608	1,8789	
33	10656194577	10656233135	38558	93,3658	3,3229	
34	10656265346	10656303645	38299	93,9972	1,8478	
35	10656586511	10656624840	38329	93,9237	8,3792	Ano
36	10656657273	10656695064	37791	95,2608	1,8725	
37	10656785141	10656823980	38839	92,6903	3,2923	
38	10656856165	10656894223	38058	94,5925	1,8662	
39	10657175754	10657215125	39371	91,4379	8,1174	Ano
40	10657246249	10657284288	38039	94,6397	1,8532	
41	10657390401	10657429231	38830	92,7118	3,7124	
42	10657461441	10657500026	38585	93,3005	1,8411	
43	10657767884	10657806721	38837	92,6951	7,8905	Ano
44	10657838644	10657876430	37786	95,2734	1,8727	
45	10657983061	10658021621	38560	93,3610	3,7453	
46	10658053296	10658091594	38298	93,9997	1,8339	
47	10658426079	10658465127	39048	92,1942	9,5468	Ano
48	10658496283	10658535101	38818	92,7405	1,8085	
49	10658639905	10658677937	38032	94,6571	3,7763	
50	10658710405	10658748699	38294	94,0095	1,8410	
51	10659016860	10659054892	38032	94,6571	8,0578	Ano
52	10659087918	10659126177	38259	94,0955	1,8573	
53	10659231287	10659269558	38271	94,0660	3,7462	
54	10659302537	10659340308	37771	95,3112	1,8864	
55	10659650032	10659688052	38020	94,6870	9,1398	Ano
56	10659721056	10659759603	38547	93,3925	1,8425	
57	10659848406	10659886412	38006	94,7219	3,3508	
58	10659918869	10659956628	37759	95,3415	1,8661	
59	10660291640	10660329636	37996	94,7468	9,8108	Ano
60	10660361325	10660399101	37776	95,2986	1,8447	
61	10660488406	10660526659	38253	94,1103	3,3221	
62	10660559142	10660597425	38283	94,0365	1,8477	
63	10660932681	10660970166	37485	96,0384	9,9650	Ano
64	10661002662	10661040173	37511	95,9718	1,8656	
65	10661128693	10661166672	37979	94,7892	3,3184	
66	10661199450	10661237161	37711	95,4629	1,8763	
67	10661458263	10661496549	38286	94,0291	6,7600	Ano
68	10661529035	10661568347	39312	91,5751	1,8003	
69	10661656895	10661695406	38511	93,4798	3,3201	
70	10661726838	10661765369	38531	93,4313	1,8152	
71	10662045394	10662083680	38286	94,0291	8,3204	Ano
72	10662116420	10662154157	37737	95,3971	1,8821	
73	10662243756	10662282287	38531	93,4313	3,3048	
74	10662314498	10662352522	38024	94,6770	1,8605	
75	10662662292	10662700804	38512	93,4774	9,0308	Ano
76	10662733036	10662771541	38505	93,4944	1,8373	
77	10662860334	10662898074	37740	95,3895	3,3730	
78	10662931623	10662969090	37467	96,0846	1,9027	

79	10663249404	10663288458	39054	92,1801	8,1370	Ano
80	10663320446	10663359221	38775	92,8433	1,8322	

Tabulka B.1: Seznam kol vlaku a jejich parametry

	Počet kol	Délka vagónu [m]	Rozsah času [μs]	Nalezená značka
Vagon č. 1	4 kola	11,7322	000000000-000486589	925427537095
Vagon č. 2	4 kola	13,3834	000616333-001168945	338178560037
Vagon č. 3	4 kola	11,9106	001259770-001760315	378478363419
Vagon č. 4	4 kola	12,5417	001876638-002388749	338078605874
Vagon č. 5	4 kola	13,1348	002520352-003062424	338078453531
Vagon č. 6	4 kola	10,2856	003168479-003607693	366881185503 (196), 661988818554 (195), 378079570487 (213), 378079570487 (214), 378079570487 (215)

Na snímku 196, 195 byl detekován kód, kde souhlasí kontrolní číslice. Tyto snímky jsou falešné, poznáme je podle hodnoty *confidence*, kterou rozpoznávající engine vrací.

Vagon č. 7	4 kola	11,6967	003714584-004200085	338079671339
Vagon č. 8	4 kola	12,1878	004306206-004807211	218881085133 (263, 16), 361988885603 (262, 15), 116121351888 (261, 15), 318078418621 (286, 18)

Chybný kontrolní součet u snímků 263, 262, 261, 286. Snímek 286 má nejvyšší hodnoty *confidence* (18). Došlo k záměně čísel „1“ a „7“. Správný kód je 378078418621.

Vagon č. 9	4 kola	12,0994	004897544-005398031	557355888081 (298), 378078418753 (320)
------------	--------	---------	---------------------	---

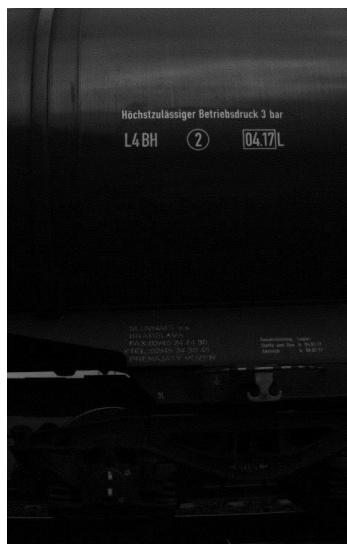
Na snímku 298 byla detekován kód, kde souhlasí kontrolní číslice. Tento snímek je falešný, poznáme ho podle hodnoty *confidence*, kterou rozpoznávající engine vrací.

Vagon č. 10	4 kola	11,8368	005488108-005987255	378478363070
Vagon č. 11	4 kola	11,6043	006093368-006579397	338079671495
Vagon č. 12	4 kola	13,1892	006686028-007238068	338079565044
Vagon č. 13	4 kola	11,7561	007342872-007829144	338079671347
Vagon č. 14	4 kola	12,8687	007934254-008462570	338178541060
Vagon č. 15	4 kola	13,5216	008551373-009102068	338079564823
Vagon č. 16	4 kola	13,6784	009191373-009743140	338178562306
Vagon č. 17	4 kola	10,4366	009831660-010271314	881185600353
Vagon č. 18	4 kola	12,0178	010359862-010857124	378478364649
Vagon č. 19	4 kola	12,7285	010946723-011474508	378078681004
Vagon č. 20	4 kola	11,8718	011563301-012062188	378478363161

Tabulka B.2: Seznam vagónů a jejich parametry



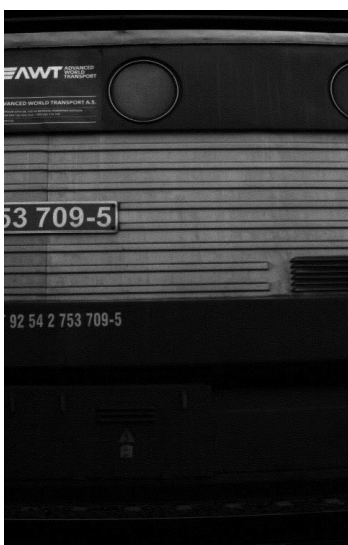
(a) Snímek 286 - chybný kód „318078418621“, záměna číslic „1“ a „7“



(b) Snímek 298 - falešný kód „557355888081“



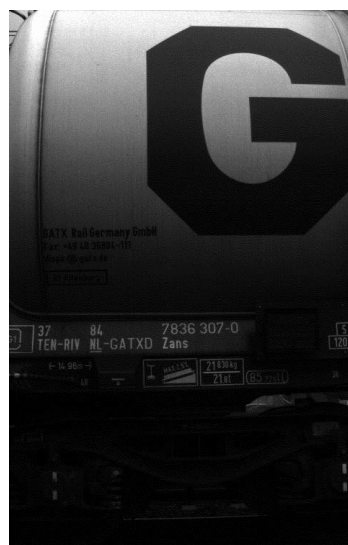
(c) Snímek 320 - kód „378078418753“



(d) Snímek 13 - kód lokomotivy „925427537095“



(e) Snímek 139 - kód „338078605874“

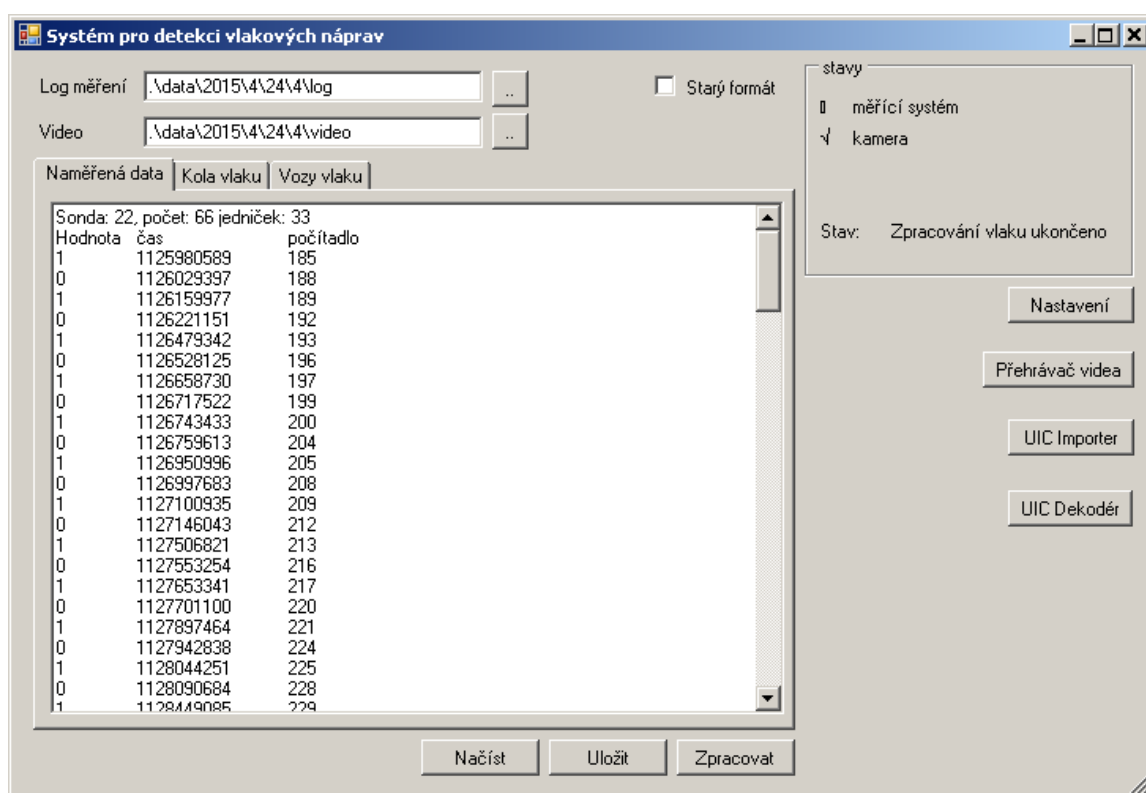


(f) Snímek 356 - kód „378478363070“

Obrázek B.1: Ukázka pořízených snímků

Příloha C

Návod na ovládání programu



Obrázek C.1: Rozhraní aplikace

Rozhraní aplikace obsahuje tlačítka pro ovládání:

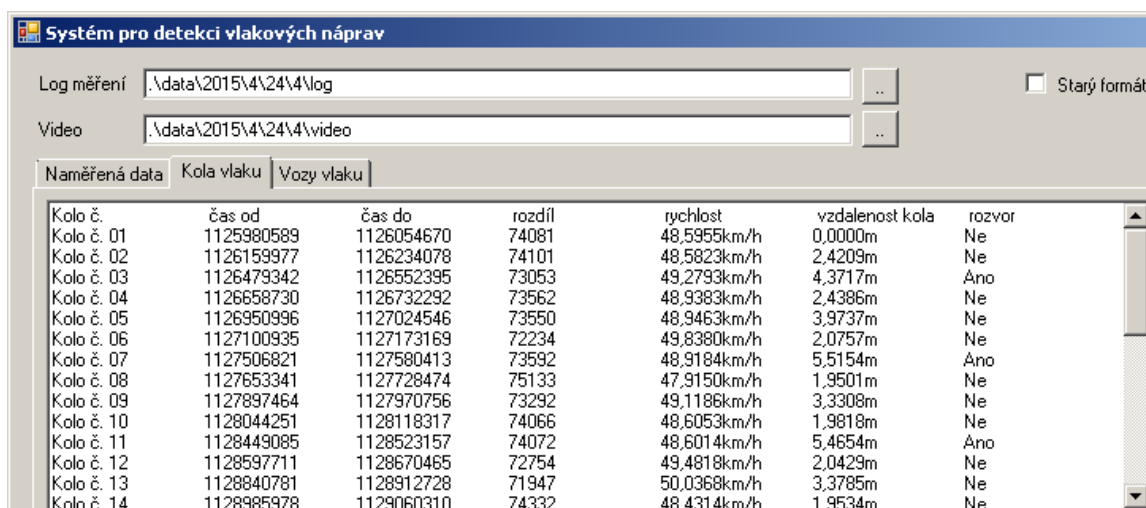
- Zpracovat - program začne zpracovávat data z měření,
- Uložit - program uloží výsledek zpracovaného vlaku do složky, kde jsou umístěna data z měření,
- Načíst - aplikace načte zpracovaný a uložený vlak a zobrazí jej.

Funkce pomocných tlačítek je následující:

- Nastavení - Zobrazí nastavení systému, kde je možné upravit parametry jednotlivých algoritmů, IP adresu kamery a měřicího systému.
- Přehrávač videa - Zobrazí formulář s jednoduchým přehrávačem pro videa pořízené pomocí systému.
- UIC Importer - Aktivuje formulář, který umí importovat abecední kódy vozů z přílohy P. 9 do databáze.
- Dekodér UIC - Zobrazí formulář s dekodérem čísel dle UIC do textové podoby. Ukazuje uživateli informace, které lze získat z čísla vagónu.

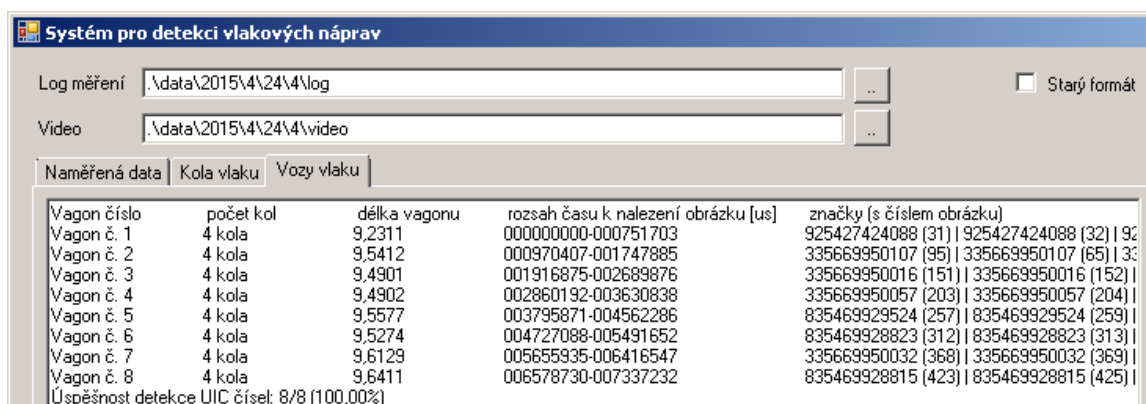
Program obsahuje tři panely. V panelu vidíme:

- *Naměřená data* - surová data z měření,
- *Kola vlaku* - seznam vypočítaných kol,
- *Vozy vlaku* - seznam vagónů vlaku a jejich číselné označení.



Kolo č.	čas od	čas do	rozdíl	rychlost	vzdálenost kola	rozvor
Kolo č. 01	1125980589	1126054670	74081	48,5955km/h	0,0000m	Ne
Kolo č. 02	1126159977	1126234078	74101	48,5823km/h	2,4209m	Ne
Kolo č. 03	1126479342	1126552395	73053	49,2793km/h	4,3717m	Ano
Kolo č. 04	1126658730	1126732292	73562	48,9383km/h	2,4386m	Ne
Kolo č. 05	1126950996	1127024546	73550	48,9463km/h	3,9737m	Ne
Kolo č. 06	1127100935	1127173169	72234	49,8380km/h	2,0757m	Ne
Kolo č. 07	1127506821	1127580413	73592	48,9184km/h	5,5154m	Ano
Kolo č. 08	1127653341	1127728474	75133	47,9150km/h	1,9501m	Ne
Kolo č. 09	1127897464	1127970756	73292	49,1186km/h	3,3308m	Ne
Kolo č. 10	1128044251	1128118317	74066	48,6053km/h	1,9818m	Ne
Kolo č. 11	1128449085	1128523157	74072	48,6014km/h	5,4654m	Ano
Kolo č. 12	1128597711	1128670465	72754	49,4818km/h	2,0429m	Ne
Kolo č. 13	1128840781	1128912728	71947	50,0368km/h	3,3785m	Ne
Kolo č. 14	1128985978	1129060310	74332	48,4314km/h	1,9534m	Ne

Obrázek C.2: Rozhraní aplikace - kola vlaku



Vagon číslo	počet kol	délka vagonu	rozsah času k nalezení obrázku [us]	značky (s číslem obrázku)
Vagon č. 1	4 kola	9,2311	00000000-000751703	925427424088 (31) 925427424088 (32) 925427424088 (33)
Vagon č. 2	4 kola	9,5412	000970407-001747885	335669950107 (95) 335669950107 (65) 335669950107 (35)
Vagon č. 3	4 kola	9,4901	001916875-002689876	335669950016 (151) 335669950016 (152) 335669950016 (153)
Vagon č. 4	4 kola	9,4902	002860192-003630838	335669950057 (203) 335669950057 (204) 335669950057 (205)
Vagon č. 5	4 kola	9,5577	003795871-004562286	835469929524 (257) 835469929524 (259) 835469929524 (261)
Vagon č. 6	4 kola	9,5274	004727088-005491652	835469928823 (312) 835469928823 (313) 835469928823 (314)
Vagon č. 7	4 kola	9,6129	005655935-006416547	335669950032 (368) 335669950032 (369) 335669950032 (370)
Vagon č. 8	4 kola	9,6411	006578730-007337232	835469928815 (423) 835469928815 (425) 835469928815 (427)

Úspěšnost detekce UIC čísel: 8/8 (100,00%)

Obrázek C.3: Rozhraní aplikace - vozy vlaku