



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MOŽNÉ APLIKACE VYSOKORYCHLOSTNÍCH KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ (VKS) V PRŮMYSLU

POSSIBLE APPLICATIONS OF HIGH-SPEED CAMERA SYSTEMS IN INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ SYCHRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JANA DOŇAROVÁ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Sychra

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možné aplikace vysokorychlostních kamerových systémů (VKS) v průmyslu

v anglickém jazyce:

Possible Applications of High-Speed Camera Systems in Industry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat rešerši na dané téma, konkrétní aplikace

Cíle bakalářské práce:

- základní pojmy a možnosti VKS
- charakteristika kamerových systémů různých výrobců

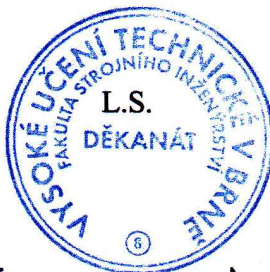
Seznam odborné literatury:

Vladimír Pata - Vysokorychlostní kamerové systémy (CERM, 2006)

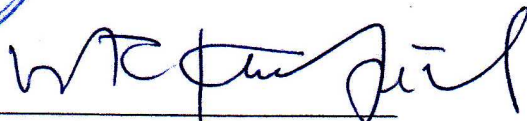
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Doňarová, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 19.11.2012



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Tato práce je rozdělena do několika hlavních částí. Nejdříve Vás seznámí s historií a problematikou vysokorychlostních kamerových systémů. Poté budete seznámeni se současnými největšími výrobci vysokorychlostních kamer. A dále se práce zaměřuje na charakteristiku kamerových systémů od zmíněných výrobců a možnosti jejich využití v průmyslu.

Klíčová slova

Vysokorychlostní kamerové systémy, Olympus i-SPEED, IDT Redlake, Photron.

Abstract

This thesis is divided into several major parts. First part of this thesis describes basic principles of high speed cameras systems and it also describes history of cameras. Second part of this thesis describes the biggest actual producers of high speed camera systems. And further thesis is focused on characteristics of the camera systems from these products and their use in industry.

Key words

High-speed camera systems, Olympus i-Speed, IDT Redlake, Photron.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

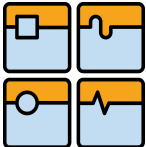
V Brně dne 19. 5. 2013

Poděkování

Děkuji tímto mé vedoucí Ing. Janě Doňarové, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt	5
Klíčová slova.....	5
Abstract	5
Key words	5
Úvod.....	9
1 Historie	10
2 Detailní popis vysokorychlostní kamery i-Speed 2 a jejího příslušenství	12
2.1 Příslušenství	12
2.2 Názvy a funkce dílů kamery i-Speed 2	12
2.2.1 Kamera	12
2.2.2 Dálkové ovládání (RCP)	18
2.2.3 Napájecí zdroj/síťová šňůra	19
2.2.4 Ovladač displeje (CDU)	19
3 Princip záznamu a důležité parametry	20
4 Charakteristika kamerových systémů různých výrobců	21
4.1 Olympus i-Speed	21
4.1.1 i-Speed LT	22
4.1.2 i-Speed 2	23
4.1.3 i-Speed 3	25
4.2 IDT Redlake	27
4.2.1 MotionScope M5	27
4.2.2 MotionXtra NX Air 7	28
4.2.3 MotionPro Y 7	29
4.3 Photron	29
4.3.1 Fastcam MH4	29
4.3.2 Fastcam IS-1M	30
4.3.3 Fastcam SA6	32
Závěr	34
Seznam použité literatury.....	35
Seznam použitých symbolů	36
Seznam obrázků.....	37
Seznam tabulek	38

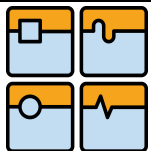
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Úvod

Vysokorychlostní kamery jsou v průmyslu využívány všude tam, kde je potřeba zachytit procesy, které jsou lidským okem nepostřehnutelné. Stále rostou požadavky na zdokonalování výrobních procesů a kontrolu jejich správné funkce, k čemuž kamery napomáhají.

Vysokorychlostní digitální kamery vytváří obrazový záznam velmi vysokou frekvencí snímání. To umožňuje prohlédnutí procesů či objektů, které se velmi rychle pohybují nebo u nich dochází k velmi rychlým změnám. Tyto procesy jsou příliš rychlé na to, aby je zachytilo lidské oko nebo obyčejná videokamera. Vysokorychlostní kamery mohou být černobílé i barevné. Černobílé kamery se používají hlavně pro vědecké účely z důvodu lepšího kontrastu a díky tomu přesnějšímu odečítání hodnot. Další výhodou černobílé kamery je menší objem zpracovávaných a přenášených dat, což umožňuje používat úložiště s menší kapacitou nebo pořizovat delší záznamy.

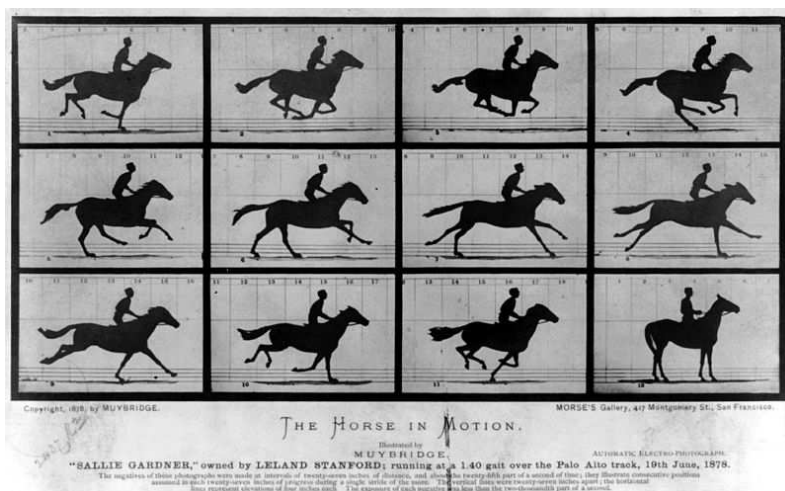
Cílem práce je seznámit čtenáře s vývojem a principem vysokorychlostních kamerových systému. Dále porovnává jejich dnešní největší výrobce a možnosti využití těchto kamer v průmyslu.



1 Historie

Vývoj kamer je úzce spjatý s vývojem fotoaparátů. Kamera je v podstatě typ fotoaparátu, který pořizuje mnoho snímků ve velké rychlosti za sebou a díky tomu se snímky jeví jako souvislý obraz.

Anglický fotograf a vynálezce Eadweard Muybridg, který se proslavil studií pohybu a používáním několika fotoaparátů zároveň, dokázal v roce 1878 pomocí série rychle po sobě jdoucích snímků, že kůň při klusu má všechny čtyři nohy ve vzduchu. Dosáhl toho tak, že přes dráhu natáhl provázky, které v okamžiku, kdy je kůň přetrhl, postupně uvolňovali pružinové závěrky 24 fotografických přístrojů. Již tenkrát Muybridg použil expoziční doby až 1/6000 sekundy.

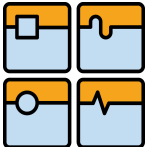


Obrázek 1. Kůň v pohybu [2]

První kameru, která byla zároveň projektorem i kopírkou, vynalezli bratři Lumiérové. Přístroj nechali patentovat jako kinematograf v roce 1895.

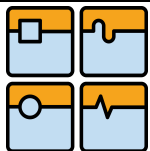
Americký inženýr Harold Eugene Edgeton vyvinul v roce 1931 elektronické výbojkové světlo, se kterým vyrobil blesky o 1/500 000 sekundy, což mu umožnilo vyfotografovat letící kulku.

Videokamery zažívají největší rozmach v druhé polovině 20. století. V roce 1948 definovala společnost filmových a televizních techniků tzv. vysokorychlostní fotografii jako skupinu po sobě jdoucích snímků zachycených s rychlostí alespoň 128 snímků/s. Lidské oko je schopno zachytit 20 – 25 obrázků/s, takže základní rychlost snímkování nám umožní pozorovat děj asi s šestinásobným zpomalením.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

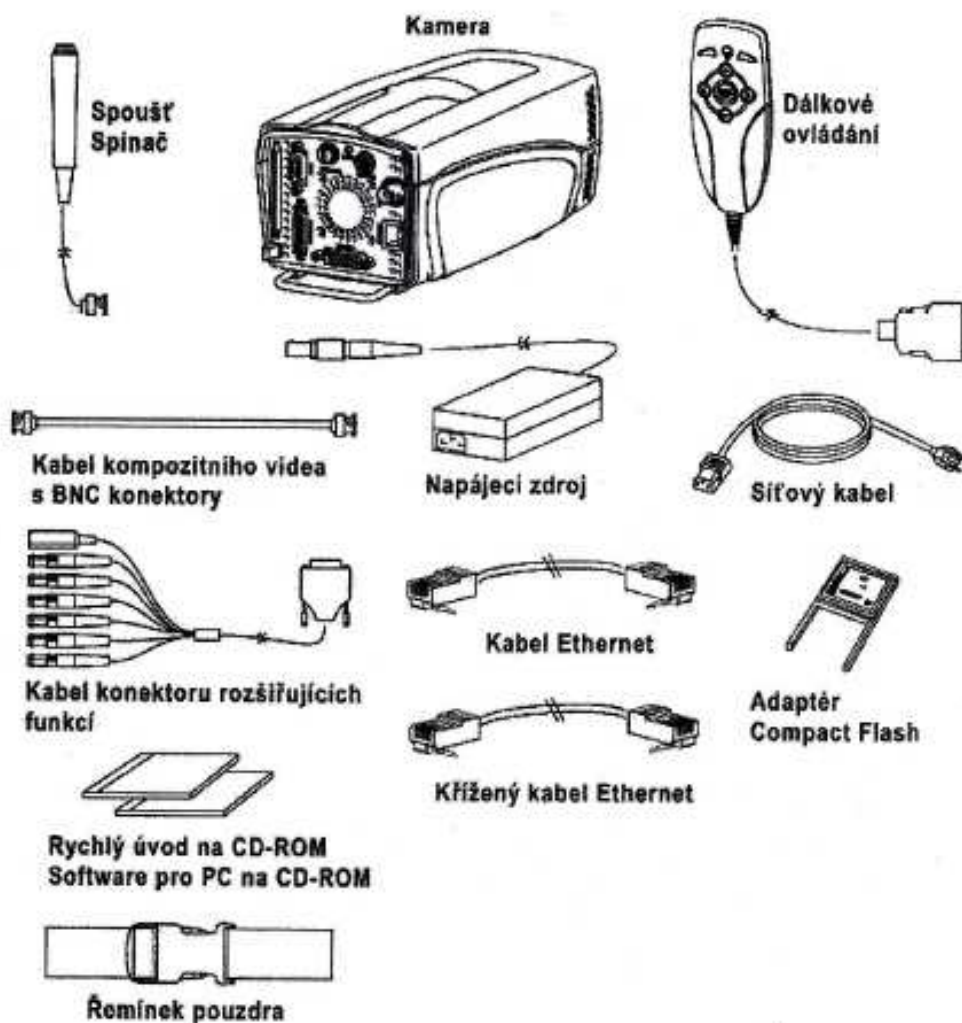
Významná data v historii vysokorychlostních kamer:

- 1980 – První vysokorychlostní kamera využívající VHS záznam.
- 1983 – První vysokorychlostní kamera specializovaná pro vojenské účely.
- 1985 – První vysokorychlostní kamera specializovaná pro využití ve vzduchu.
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající S-VHS záznam.
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající technologii CMOS.
- 1994 – Byla vyrobena první barevná vysokorychlostní kamera.
- 1994 – První vysokorychlostní digitální kamera využívající CMOS technologii.
- 1995 – První tříčipová vysokorychlostní digitální kamera.
- 1997 – První vysokorychlostní kamerový systém schopný ukládat digitální i analogový záznam na pásku S-VHS.
- 2003 – První jednočipová vysokorychlostní digitální kamera s HD rozlišením.
- 2005 - Vznikla vysokorychlostní kamera s rozlišením full HD, která se používá nejen na zpomalené záběry, ale i na přenos živého vysílání během sportovních utkání.



2 Detailní popis vysokorychlostní kamery i-Speed 2 a jejího příslušenství

2.1 Příslušenství



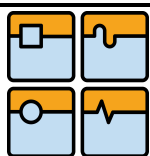
Obrázek 2. Příslušenství [1]

2.2 Názvy a funkce dílů kamery i-Speed 2

2.2.1 Kamera

1) Napájecí konektor

Napájecí konektor na zadním panelu je určen k přivedení napájecího napětí kamery se jmenovitou hodnotou 12Vss. Toto napájení zajišťuje provoz kamery ale také jednotek CDU nebo RCP. Napájecí vstup je chráněn před prepólováním a záměna polarity v běžných případech vede jen ke spálení pojistky. [1]



2) LED kontrolka zapnutí

LED kontrolka zapnutí se rozsvítí, pokud je připojeno napětí 12 V a pojistka je v pořádku. [1]

3) Pojistka

Pojistku může uživatel vyměnit a dostane se k ní vyšroubováním držáku pojistky. Při výměně pojistky je nutno dávat pozor a použít pojistku správné velikosti, typu a hodnoty. [1]

4) BNC konektor kompozitního videa

Tento konektor poskytuje standardní kompozitní barevný video signál PAL nebo NTSC pro video monitor. BNC je průmyslový standard připojení tohoto typu signálu a součástí dodávky je kabel kompozitního videa s BNC konektory. Video signál na tomto konektoru lze v menu jednotky CDU přepnout na NTSC nebo PAL dle potřeby. [1]

5) Ovládací konektor

Tento konektor umožňuje připojit ke kameře jednotku CDU nebo RCP. Zajišťuje napájení jednotky RCP nebo CDU z kamery, přenos video signálu z kamery do jednotky CDU a přenos informací o stiscích tlačítek z jednotek RCP nebo CDU do kamery. [1]

6) Konektor Ethernet

Tento konektor je standardní konektor RJ45 se dvěma zabudovanými LED kontrolkami navíc. Signál odpovídá normě Ethernet 10-T nebo Ethernet 100-T a systém Olympus i-SPEED se automaticky přizpůsobí síti, k níž je připojen. Kabel Ethernet od zařízení musí být připojen k rozbočovači Ethernet, i když pomocí kříženého kabelu lze zařízení přímo připojit k PC/přenosnému počítači. Silně doporučujeme, aby všechny prvky použité v síti Ethernet podporovaly normu 100-T, protože tak lze využít vyšší provozní rychlost síťové karty zabudované v kameře. LED kontrolky zabudované v konektoru Ethernet slouží k diagnostickým účelům a signalizují následující stavy: [1]

Tabulka 1. Stavy signalizované LED kontrolkou [1]

LED u horní strany kamery	100 MHz připojení
LED u dolní strany kamery	100 MHz připojení
Červená barva.....	Poloduplexní komunikace
Zelená barva.....	Plněduplexní komunikace
Svítlí.....	Zařízení jsou elektricky propojena
Bliká.....	Probíhá přenos dat

7) Konektor SVGA

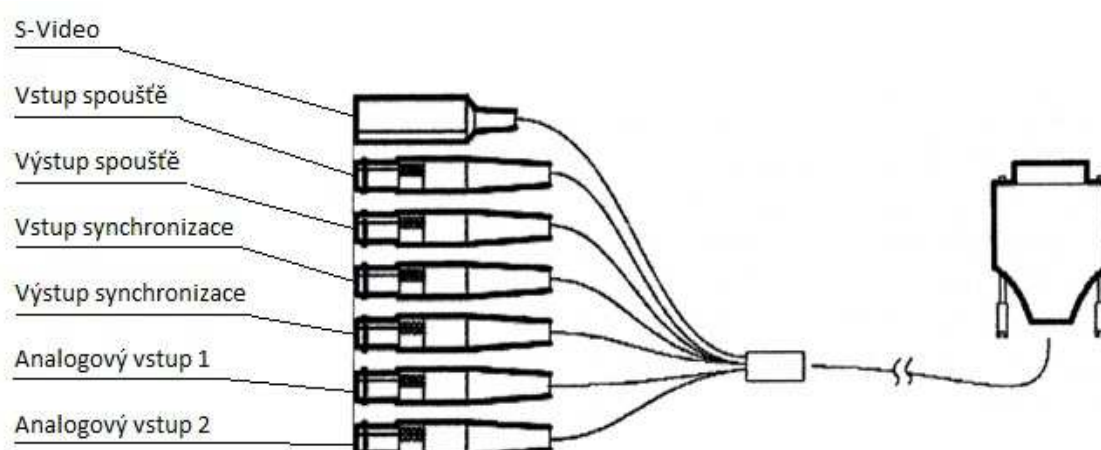
Na tomto konektoru je signál SVGA s video obrazem a přes něj zobrazovanou grafikou. Pokud je použita jednotka CDU, je na tomto konektoru kopie obrazu z CDU. Výstupní signál je 60Hz videosignál PC standardu SVGA a konektoru je běžný 15kolíkový D-sub video konektor PC. Proto lze tento signál propojit přímo k PC monitoru (LCD nebo CRT) a získat tak nejlepší možnou kvalitu živého analogového obrazu z kamery. [1]

8) PCMCIA slot

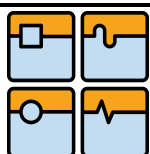
Kamera dokáže pracovat s flash pamětí ve formátu PCMCIA. Lze použít karty standardu ATA FLASH s napájením 3,3 nebo 5V. Pomocí dodávaného PCMCIA adaptéru lze použít i karty Compact Flash, které doporučujeme, pokud potřebujete větší paměťovou kapacitu. Po vložení je nutno kartu silou zasunout až na doraz; vyjmout ji lze po stisku tlačítka na dolní straně slotu. Před vyjmutím nebo vložení karty není nutno vypínat napájení, ale dejte pozor, ať kartu nevyjmete v době, kdy probíhá zápis, mazání nebo formátování. [1]

9) Konektor rozšiřujících funkcí/kabel konektoru rozšiřujících funkcí

Tento konektor obsahuje řadu signálů. Jsou shromážděny do jednoho konektoru, aby mohl být zadní panel kamery menší a aby tedy bylo možno vyrobit co nejmenší kameru. Signály z tohoto konektoru lze získat připojením standardně dodávaného kabelu konektoru rozšiřujících funkcí, zakončeného řadou konektorů s níže uvedeným označením: [1]



Obrázek 3. Kabel konektoru rozšiřujících funkcí [1]

**Vstup spouště/spínač spouště:**

Tento konektor (a v případě potřeby i dodávaný spínač spouště) slouží ke spuštění kamery během záznamu.

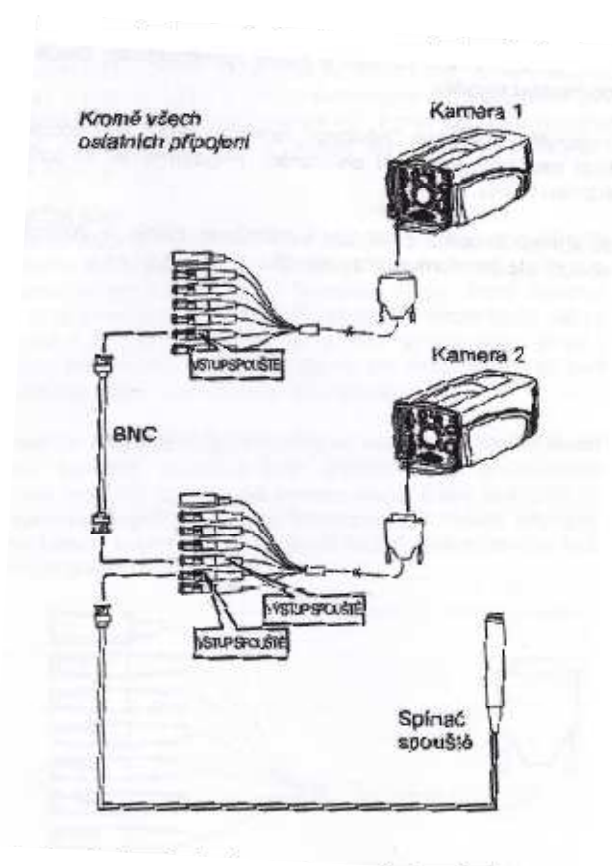
Pokud je spouštění nastaveno na 0%, je počítadlo spouštění nastaveno na plnou délku paměti, takže se snímek pořízený v okamžiku spuštění objeví na začátku (0%) výsledného videoklipu. Pokud je spouštění nastaveno na 100%, záznam se okamžitě zastaví a snímek pořízený v okamžiku spuštění je posledním snímkem výsledného videoklipu.

Signál má úroveň TTL a uživatel si může vybrat aktivaci spouště náběžnou nebo sestupnou hranou signálu.

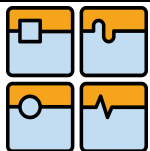
Vstup spouště obsahuje “zdvihací” resistor, takže lze dodávaný spínač spouště používat bez zapojení další elektroniky. [1]

Výstup spouště:

Tento výstup je slučitelný s úrovní TTL a je na něm puls o šířce 1 mikrosekunda, aktivní v úrovni H. Tímto konektorem lze aktivovat záznam další kamery na konci záznamové doby této kamery. Tak lze zřetěžit více kamer. [1]

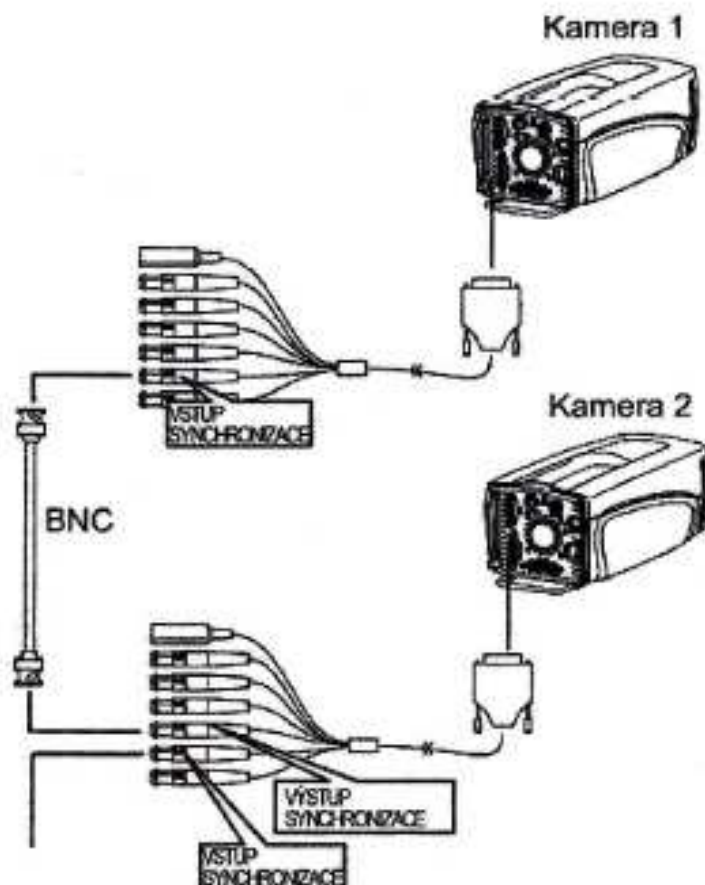


Obrázek 4. Vstup spouště/spínač spouště [1]

**Vstup synchronizace:**

Snímkový kmitočet kamery může být určen vnějším zařízením, nejčastěji další kamerou. V tom případě se kamera nejen přizpůsobí snímkovému kmitočtu připojené kamery, ale také pořizuje snímky v přesně stejný okamžik jako připojená kamera (± 25 ns). Tak lze jeden jev sledovat více kamerami a snímky budou přesně synchronizované. Vstup je slučitelný s úrovní TTL a reaguje na puls aktivní v úrovni H, jehož náběžná hrana představuje začátek integrační fáze.

Kamera tento vstup neustále sleduje a informuje uživatele o zjištěných vstupních synchronizačních pulsech. Při zjištění pulsů na tomto vstupu kamera změní snímkový kmitočet a nabídne uživateli možnost automatické konfigurace synchronizovaného snímání. [1]



Obrázek 5. Vstup synchronizace [1]

Výstup synchronizace:

Tento signál je slučitelný s úrovní TTL a je to puls aktivní v úrovni H se šířkou 1 mikrosekunda, jehož náběžná hrana představuje začátek integrační fáze. Slouží k synchronizaci dalších kamer i-SPEED. [1]

Analogový vstup 1 a 2:

Kromě záznamu videa dokáže kamera Olympus i-SPEED zaznamenávat dva analogové signály. Jsou digitalizovány s rozlišením 8 bitů a uloženy ve vnitřní vyrovnávací paměti spolu s videem. Signály lze dle potřeby zobrazit na obrazovce jednotky CDU nebo PC. Signály jsou vzorkovány kmitočtem souvisejícím se snímkovým kmitočtem, přičemž poměr těchto kmitočtů lze nastavit v menu. Kmitočet vzorkování lze nastavit v rozmezí 1 vzorek dat na 1 snímek až 100 vzorků dat na 1 snímek, takže maximální počet vzorků za sekundu je 100000. [1]

Výstup S-Video:

Na tomto výstupu je kopie kompozitního video signálu (z konektoru BNC), ale ve formátu S-Video (někdy také nazývaným Y/C).

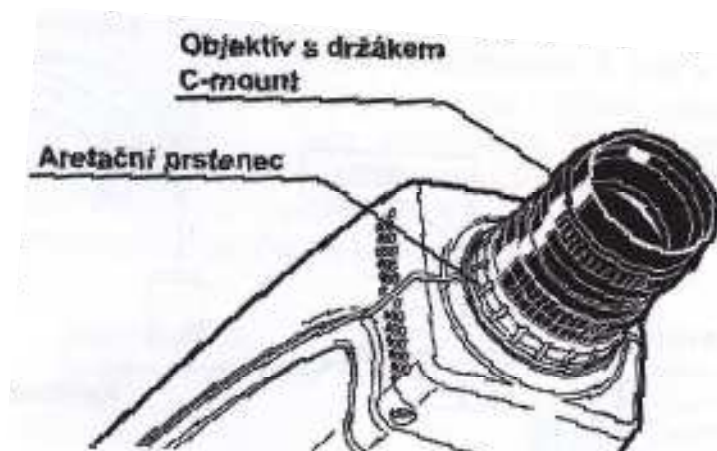
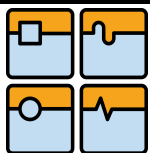
Díky specifikaci normy S-Video je tento signál o něco kvalitnější než běžnější kompozitní video signál. [1]

10) Chladicí otvory

V zadním panelu je řada chladicích otvorů další jsou na bocích přední části skříňky kamery. Vnější otvory na zadním panelu a otvory v přední části kamery jsou vstupy vzduchu a kruhově uspořádané otvory na zadním panelu jsou výstupy vzduchu. Hlavním důvodem pro zavedení nuceného větrání byla nutnost odstranění přehřátých míst v elektronice kamery a je nutno dávat pozor, aby chladicí otvory nebyly nikdy zakryty nebo ucpány. [1]

11) Ovládání ostření

Někdy je z důvodů použití objektivů různých výrobců nebo objektivů s odlišnými optickými tolerancemi nutno upravit vzdálenost mezi přední stranou C-držáku a obrazkovým snímačem. Kamera Olympus i-SPEED je vybavena ovládáním ostření umístěným na přední straně přístroje. Pokud chcete upravit ostření, našroubujte objektiv do držáku C-mount tak, jako obvykle. Otočením aretačního prstence proti směru hodinových ručiček odjistíte závit držáku C-mount a pak dle potřeby nastavte ostření otáčením objektivu. [1]

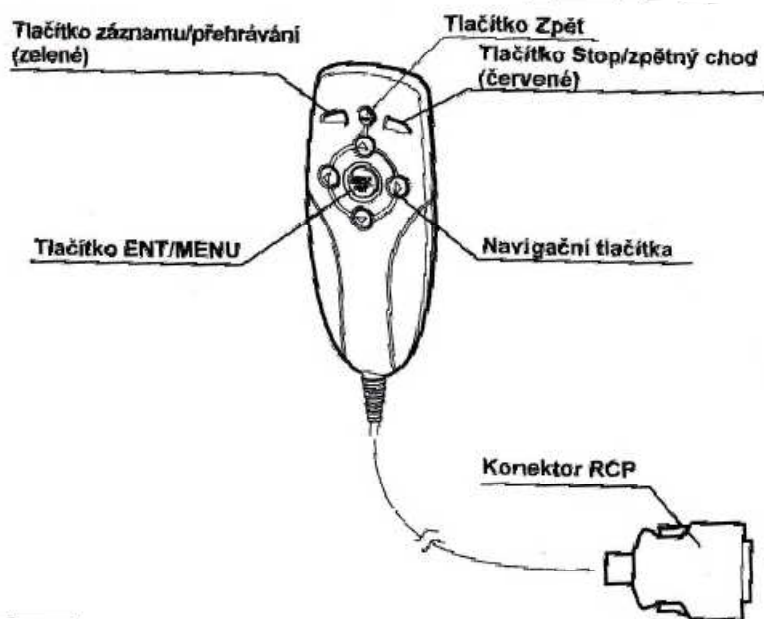


Obrázek 6. Ovládání ostření kamery [1]

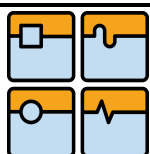
2.2.2 Dálkové ovládání (RCP)

Tento ruční přístroj se připojuje k ovládacímu konektoru kamery a je napájen z kamery. Kamera dokáže rozpoznat připojenou RCP jednotku a zobrazuje pak na PC nebo TV monitoru specializovanou sadu menu. Jednotka RCP slouží k pohybu v tomto systému menu.

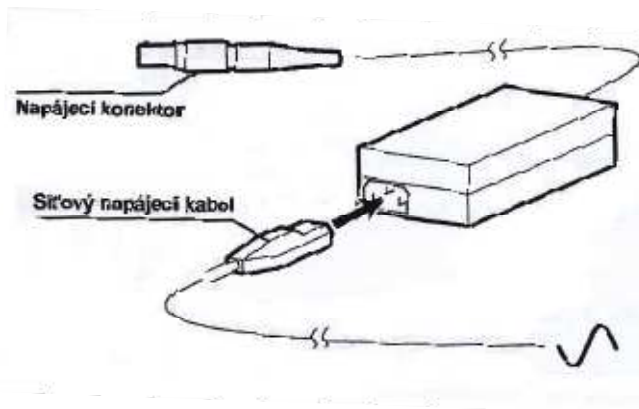
Při přechodu ovládání jednotkou RCP na ovládání jednotkou CDU a naopak je nutno kameru vypnout a zapnout. [1]



Obrázek 7. Popis jednotky RCP [1]



3.2.3 Napájecí zdroj/síťová šňůra



Obrázek 8. Napájecí zdroj/síťová šňůra [1]

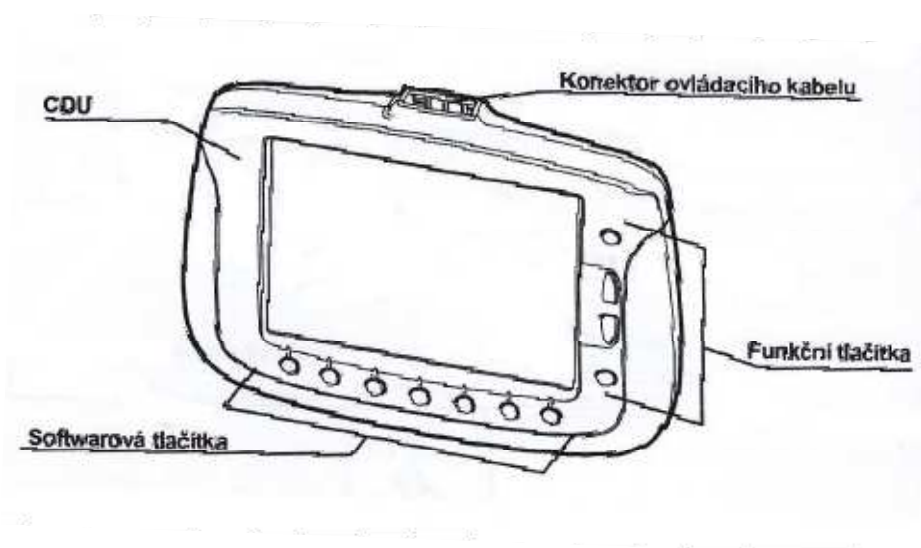
Napájecí zdroj 12 Vss je dodáván s vhodným síťovým napájecím kabelem a musí být uzemněn

Napájecí konektor je připojuje k napájecímu konektoru kamery a zajišťuje napájení kamery a jejích řídicích jednotek. [1]

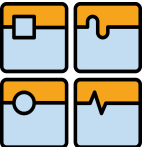
2.2.4 Ovladač displeje (CDU)

Jednotka CDU zobrazuje v reálném čase obraz z kamery a dovoluje maximálně univerzální využívání kamery pomocí řady tlačítek okolo obrazovky. Jednotka CDU se připojuje k ovládacímu konektoru kamery pomocí ovládacího kabelu. Jednotka CDU je napájena z kamery, z níž také přebírá video signál, a nevyžaduje baterie a další propojení.

Kamera dokáže rozpoznat připojenou jednotku CDU a zobrazuje pak na PC nebo TV monitoru specializovanou sadu menu. [1]



Obrázek 9. Ovladač displeje (CDU) [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3 Princip záznamu a důležité parametry

Princip záznamu kamery se dá popsat v pěti částech. V první části dochází k transformaci obrazu pomocí čoček a zrcadel, pak následuje separace barev pomocí filtrů. Dále dochází ke generaci elektrických signálů pro jednotlivé body, a nakonec se ze signálů vytvoří digitální data. Data se většinou nezapisují přímo na paměťovou kartu nebo pevný disk, ale na rychlou interní paměť, ze které jsou archivována až následně.

O první čtyři kroky se stará obrazový senzor využívající čip CCD nebo CMOS. Oba senzory využívají fotocitlivé buňky umístěné na ploše čipu, které zaznamenají proud fotonů, a podle jeho velikosti určí jas obrazu. Oba čipy také využívají barevné filtry sloužící k rozdělení obrazu na 3 základní barevné složky: červenou, zelenou a modrou. Pokud známe v každém dostatečně malém bodě jas zelené, červené a modré barvy, jsme schopni zobrazit všechny barvy vnímatelné lidským zrakem. [5]

První rozdíl v obou technologiích snímání obrazu se objevuje při zpracování dat z čipu. CCD nemá v okolí buňky žádnou elektroniku a signály odchází postupně z jednotlivých buněk do řídicí elektroniky. CMOS disponuje u každé buňky jednoduchým obvodem, který se stará o zesílení a přenos signálu do procesoru pro každou buňku zvlášť. I proto je světlocitlivá plocha jednotlivých buněk na CMOS menší než u CCD, ale na druhou stranu to umožňuje zmenšení počtu obvodů, které musejí signál zpracovávat po odchodu ze snímače. CMOS technologie je tedy celkově méně náročná na prostor, ale i na odběr elektrické energie. [5]

Důležitým parametrem, který výrazně ovlivňuje nároky na výsledný datový tok, je rozlišení obrazu. Sděluje nám, kolik bodů dokáže kamera zaznamenat a tím pak určuje kvalitu a velikost obrazu, také však velikost záznamu. Například kamery s rozlišením full HD, mají velikost jednoho snímku 6 MB (3 barevné složky, každá s hloubkou 8 bitů), takže 1 s záznamu s rychlostí 2000 snímků za sekundu zabírá téměř 12 GB paměti. [5]

Z hlediska světelných nároků patří mezi hlavní parametry rychlost závěrky, neboli expoziční čas, který vyjadřuje dobu, po kterou musí být vystaven snímač dopadu světla, aby byla dosažena správná expozice. Aby byl záznam vysokorychlostní, musí být rychlost závěrky menší než 7,8 ms. Průměrné závěrky vysokorychlostních kamer pracují v intervalech 100 μ s a méně, za tak krátkou dobu nestihnou pochyťat dostatek světla, a proto je nezbytné dodatečné osvětlení snímaného předmětu. Výjimkou jsou předměty nebo děje, které jsou samy zdrojem světla (zapalovač, elektrický výboj, výbušniny,...). [5]

4 Charakteristika kamerových systémů různých výrobců

Vysokorychlostní kamery byly dříve velmi nákladnou záležitostí, a proto se používali hlavně na specializovaných pracovištích. V dnešní době počet výrobců VKS narůstá a díky tomu se stávají ekonomicky dostupnější a nachází se pro ně stále širší okruh uplatnění.

K největším výrobcům vysokorychlostních kamer dnes patří firmy Olympus, IDT Redlake a Photron.

Vysokorychlostní kamery jsou využívány zejména v průmyslu, ale můžeme se s nimi setkat i při natáčení filmů.

Možné využití kamer v průmyslu:

V průmyslové výrobě - Diagnostika, nastavování a seřizování výrobních a balících linek. (optimalizace výroby). Rychlé nalezení a odstranění vůle v uložení pohyblivých částí. Nadměrné vibrace objektu. Nesynchronní pohyb mechanických částí atd., které se mohou projevit zvýšenou zmetkovitostí nebo neplánovaným zastavením. Analýzy tvorby třísek. Rázové zkoušky.

V automobilovém průmyslu - Crash testy a zkoumání účinnosti air bagů a bezpečnostních pásů.

Ve zbrojním průmyslu - Především balistické zkoušky, funkční analýzy zbraní a pyrotechnické zkoušky.

V chemickém průmyslu - Pozorování chemických reakcí.

V biomechanice – Měření a posouzení pohybů.

V hutnictví – Kontrola celistvosti při volném výtoku kovů.

4.1 Olympus i-Speed

Firma Olympus je japonská společnost založena v roce 1919, která se zabývá mimo jiného výrobou vysokorychlostních kamerových systémů. Kamery jsou konstruovány jako samostatné jednotky. K ovládání je určen displej CDU (Controller Display Unit), který uživateli umožňuje okamžitou kontrolu, a přezkoumání nasnímaných dějů. Dále je možné ovládat kameru připojením k PC pomocí ethernetového kabelu nebo RCP ovladačem.

Kamery Olympus i-Speed jsou černobílé nebo barevné a mohou ukládat obraz ve dvou různých formátech, v AVI a MJPEG. Všechny kamery Olympus používají pro snímání senzor typu CMOS. Nevýhodou je, že se záznamy neukládají při náhlém vypnutí, a proto je nutné data před vypnutím uložit. Výhodou těchto kamer je možnost různých způsobů ovládání. Olympus v současnosti vyrábí několik druhů vysokorychlostních kamer:

4.1.1 i-Speed LT

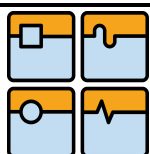
Základním modelem je kamera i-Speed LT. Tahle kamera byla navržena pro aplikace, kde je hlavním požadavkem jednoduché nastavení kamery a snímání děje, při zachování její přenositelnosti, robustní konstrukci a snadnému použití. Rozměry kamery jsou 115 mm (š) x 110 mm (v) x 233 mm (d) a její hmotnost je 2 kg. Napájení je přes napájecí zdroj upraveno na potřebné napětí 12V, kamera poté napájí i všechna zařízení k ní připojena. I-Speed LT je možné napájet i bateriemi.

Interní paměť kamery může být 1GB, 2GB nebo 4GB a lze ji rozšířit pomocí paměťové karty o kapacitě 1GB. S velikostí paměti přímo souvisí i doba záznamu, čím větší je paměť, tím delší záznam můžeme nahrát. Při snímkové frekvenci 1000 snímků za sekundu dosahuje kamera maximálního rozlišení 800 x 600 obrazových bodů. Maximální snímkovácí frekvence je 2000 snímků za sekundu, při této rychlosti snímkování však dojde k poklesu rozlišení.

Výhodou kamery je možnost jejího rozšíření na i-Speed 2. I-Speed LT je vhodná pro širokou škálu průmyslových odvětví a automatizace, např. sportovní výzkum, laboratorní výzkum, nastavení výrobních a zpracovatelských linek, testování materiálu a různých komponentů, atd.



Obrázek 10. Kamera Olympus i-Speed LT
[3]



Tabulka 2. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed LT [5]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
60	800	600
100	800	600
150	800	600
200	800	600
300	800	600
400	800	600
500	800	600
1000	800	600
1500	672	504
2000	576	432

4.1.2 i-Speed 2

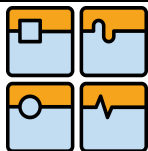
Je další z řady vysokorychlostních kamer Olympus. I-Speed 2 je konstrukčně podobná předchozímu modelu a přináší vylepšení některých funkcí.

Vlastní paměť kamery si můžeme zvolit 2GB nebo 4GB, s rozšířením pomocí paměťové karty o 1GB až 2GB. Rychlost snímání kamery je od 1 do 33000 snímků za sekundu a maximální rozlišení 800 x 600 obrazových bodů při snímkovací frekvenci do 1000 snímků za sekundu.

Mezi výhody i-Speed 2 patří zámek fáze, který umožňuje synchronizovat více kamer. Možnost provozu při současném zapojení CDU a PC. A volitelná video komprese, pro zvýšení množství uložených dat a rychlosti jejich stahování.



Obrázek 11. Kamera Olympus i-Speed 2 [3]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka 3. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 2 [5]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1	800	600
25	800	600
100	800	600
150	800	600
200	800	600
300	800	600
400	800	600
500	800	600
1000	800	600
1500	672	504
2000	576	432
3000	448	336
4000	384	288
5000	320	240
10000	224	168
15000	160	120
20000	128	96
33000	96	72

4.1.3 i-Speed 3

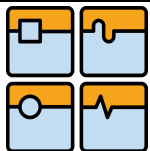
Je nejnovější přírůstek z řady Olympus i-Speed. Kamera poskytuje vysoké rozlišení a extrémně nízkou citlivost na světlo. Její rozměry jsou 112 mm (š) x 141 mm (v) x 341 mm (d) a její hmotnost je 5 kg včetně integrované baterie. Potřebné vstupní napětí je 14 až 28V, na baterii vydrží kamera 45min nepřetržitého provozu.

Kamera je vybavena interní pamětí až 16GB s možností rozšíření, pomocí paměťových karet, na dvounásobnou velikost. I-Speed 3 dokáže snímat rychlostí od 1 do 150000 snímků za sekundu s maximálním rozlišením 1280 x 1024 obrazových bodů při snímkovací frekvenci do 2000 snímků za sekundu.

Kamera je vybavena vnějšími LED indikátory pro potvrzení stavu činnosti kamery, tato funkce je označena jako i-CHEQ. Další z nových funkcí je i-FOCUS. Je to funkce elektronického potvrzení hloubky ostrosti objektivu a bodu zaostření, což usnadňuje nastavení kamery. Novinkou je také vkládání trvalého textu do jednotlivých snímků.



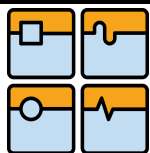
Obrázek 12. Kamera Olympus i-Speed 3 [3]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka 4. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 3 [5]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1	1280	1024
25	1280	1024
100	1280	1024
150	1280	1024
200	1280	1024
300	1280	1024
400	1280	1024
500	1280	1024
1000	1280	1024
1500	1280	1024
2000	1280	1024
3000	1068	800
4000	912	684
5000	804	600
10000	528	396
15000	420	312
20000	348	260
30000	264	196
40000	216	160
50000	180	132
75000	132	96
100000	96	72
125000	72	52
150000	60	44



4.2 IDT Redlake

Integrated Design Tools je americká firma, která vznikla v roce 1997. Specializuje se na vysokorychlostní kamery, s vyšší odolností vůči nárazům, přetížením a teplotám. Všechny kamery používají snímací senzor CMOS. Aktuální nabídka produktů zahrnuje tři série kamer M, NX a Y:

Kamery řady M jsou mimořádně kompaktní. Jsou vyrobeny bez vnitřní paměti, a proto musí být při snímání spojeny s počítačem.

NX kamery jsou stejně kompaktní, ale díky efektivnější konstrukci jsou schopny vyrovnat se i větším kamerám.

Y kamery jsou nejuniverzálnější řadou. Jsou určeny pro široký rozsah aplikací s maximálními nároky na kvalitu výsledku.

4.2.1 MotionScope M5

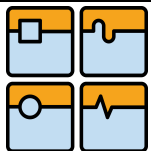
Miniaturní kamera o rozměrech 55 mm (š) x 55 mm (v) x 75 mm (d) a hmotnosti 320g s odolnou konstrukcí. Kamera je napájena vstupním napětím 12V. Je schopná odolávat nárazům a teplotám od -40°C do 50°C.

Kamera nemá svoji vlastní paměť, a tak je doba záznamu dána kapacitou externího pevného disku. M5 dokáže snímat rychlostí až 17200 snímků za sekundu, ale při největším rozlišení, které je 2320 x 1728, dosáhne maximálně rychlosti 170 snímků za sekundu.



Obrázek 13. Kamera IDT Redlake MotionScope M5 [6]

Tato kamera je navržena pro dlouhotrvající záznamy, kdy je potřeba dosáhnout dobré ostrosti a kontrastu obrazu. Proto je vhodná pro použití u montážních linek, kde zpomaluje rychlé tempo automatizace a umožňuje vizuální kontrolu.

Tabulka 5. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro MotionScope M5 [6]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
170	2320	1728
270	2320	1080
285	2320	1024
380	2320	768
570	2320	512
1135	2320	256
2270	2320	128
4450	2320	64
8700	2320	32
17200	2320	16

4.2.2 MotionXtra NX Air 7

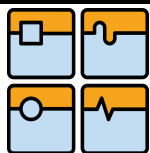
Malá kompaktní kamera o rozměrech 69 mm (š) x 64 mm (v) x 64 mm (d) a hmotnosti 480g. Kamera je plně autonomní, a proto nevyžaduje připojení do konzole. Je opatřena interní baterií a výhodou je možnost řízení přes WiFi.

NXA 7 má svoji vlastní 3GB paměť, rozšiřitelnou na 4-5GB. Snímač má maximální rozlišení 1920 x 1080 bodů při 3000 snímcích za sekundu a dosahuje snímací rychlosti až 47000 snímků za sekundu při rozlišení 112 x 64 bodů.

Díky svým rozměrům, velké odolnosti a schopnosti dálkového řízení se NXA 7 používá při testování airbagů, v letectví a při automobilových crash testech.



Obrázek 14. Kamera IDT Redlake MotionXtra NX Air 7 [6]



4.2.3 MotionPro Y 7

Je nejnovější z řady Y, je vybavena univerzálním integrovaným časovým rozhraním, které umožňuje synchronizaci všech světelných zdrojů, jako jsou lasery a led diody. Při své velikosti 90.5 mm (š) x 90.5 mm (v) x 22 mm (d) ji stále řadíme mezi malé kompaktní kamery, hmotnost má 3.4kg.

Kamera se pyšní velkou vnitřní pamětí 8GB a lze ji rozšířit až na 64GB, což umožňuje záznam dlouhých sekvencí i při plném rozlišení. Snímač poskytuje vynikající výkon, rozlišení 1920 x 1080 bodů při 5000 snímcích za sekundu. Nejvyšší snímkovací frekvence kamery je 32000 snímků za sekundu.



Obrázek 15. Kamera IDT Redlake MotionPro Y7 [6]

Nově se zde objevuje vzdálené ovládání přes WiFi pomocí iPhoneu, iPadu nebo iPodu. Kamera nachází své využití při crash testech, aerodynamických testech a nadzvukové balistice.

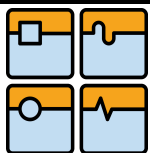
4.3 Photron

Americká společnost založena v roce 1974. Vyrábí vysokorychlostní kamery pro využití ve zpracovatelském průmyslu, lékařství, filmových laboratořích, balistice, biomechanice a automobilovém průmyslu. Jsou vybaveny různými typy snímačů obrazu s rozlišením od 0,26Mpx do 4,2Mpx v provedení pro černobílý i barevný záznam. Včetně klasických kamer s jedním snímačem, vyrábí Photron i kamery s oddělenými externími snímacími hlavicemi. Některé modely mají odolnou konstrukci a vyšší rázovou odolnost.

Vyráběné kamery můžeme rozdělit do třech hlavních skupin: Ultrarychlé kamery, řada SA a Multihead.

4.3.1 Fastcam MH4

Zařízení ze skupiny multihead, obsahuje 4 hlavy kamer vybaveny snímači CMOS, z nichž každá má velikost 35 mm (š) x 35 mm (v) x 34 mm (d) a váží 0.3 kg. Tyto kamery jsou připojeny k DC procesoru o rozměrech 150 mm (š) x 245 mm (v) x 180 mm (d) a hmotnosti 7.6 kg. Se standardním vestavěným akumulátorem vydrží v provozu 60 minut, pro delší provoz je možné použít rozšiřující baterii nebo zapojení do sítě.



HM4 poskytuje vynikající barevnou citlivost a rychlost 60 až 10000 snímků za sekundu. Nejvyšší rozlišení kamer 512 x 512 pixelů je k dispozici od 60 do 2000 snímků za sekundu. Standardní paměť, 1GB pro každou kameru, je rozšiřitelná na 2GB pro každou hlavu kamery, tedy celkem na 8GB.

Kameru lze ovládat použitím dálkového ovládacího panelu s video přehrávačem, což odstraňuje potřebu připojení počítače pro nastavení nebo provoz nakonfigurovat téměř pro všechny aplikace vyžadující vyšší odolnost vůči přetížení.



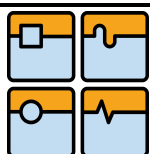
Obrázek 16. Kamera Photron Fastcam MH4 [7]

Tabulka 6. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam MH4 [7]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
250	512	512
500	512	512
1000	512	512
2000	512	512
3000	512	352
4000	512	256
8000	512	128
10000	512	96

4.3.2 Fastcam IS-1M

Tato ultrarychlá kamera patří k nejrychlejším přístrojům pro vysokorychlostní snímání při vysokém rozlišení obrazu. Její snímací senzor IS-CCD je extrémně citlivý na světlo, a díky tomu dokáže zachytit různé děje i při špatných světelných podmínkách. I když je kamera dobře přenosná, velikostně se řadí spíše ke větším kamerám 140 mm (š) x 145 mm (v) x 360 mm (d), hmotnost 5.3 kg.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ovládána je pomocí počítače přes port USB 2.0. Snímaný děj má rozlišení 312 x 260 pixelů, a v tomto rozlišení dokáže pořizovat záznamy s rychlostí až 1 000 000 snímků za sekundu.

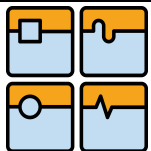
Hlavním rysem této kamery je snímač, který má oblasti ukládání zaznamenaného signálu začleněny přímo do čipu. Díky tomuto unikátnímu řešení bylo dosaženo výraznému urychlení celého procesu od okamžiku zachycení světla až po zpracování výsledného signálu. Využití především v balistice, letectví, výzkumu rázových vln a výbuchů.



Obrázek 17. Kamera Photron Fastcam IS-1M [7]

Tabulka 7. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam IS-1M [7]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1000	1024	1024
2000	1024	1024
3000	1024	1024
5000	1024	1024
5400	1024	1024
10000	768	768
15000	768	512
20000	512	512
30000	512	352
75000	512	128
100000	320	128
125000	256	128
180000	128	128
250000	128	80
300000	128	64
500000	64	32
675000	64	16



4.3.3 Fastcam SA6

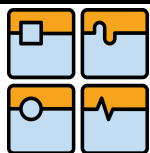
Byla vyvinuta s cílem umožnit vysoké rozlišení a detailní vysokorychlostní analýzu v mnoha oblastech. Je vybavena senzorem ADC. Kameru lze řídit dálkovým ovládacím panelem nebo přes počítač, je také plně kompatibilní s jednotkou pro ovládání více kamer současně. Rozměry kamery jsou 165 mm (š) x 153 mm (v) x 250 mm (d) a její hmotnost je 6.9 kg.

SA6 se vyrábí ve třech paměťových provedeních 8, 16, 32GB. Díky citlivému snímači může pracovat v horších světelných podmínkách a přináší dobrou kvalitu obrazu a věrnost barev. Systém poskytuje 1920 x 1440 pixelů rozlišení obrazu, při rychlosti 1125 snímků za sekundu a při Full HD rozlišení rychlost 1500 snímků za sekundu.

Kamera se používá v automobilovém průmyslu při bezpečnostních testech, v letectví a při zkoumání dynamiky kapalin.



Obrázek 18. Kamera Photron Fastcam SA6 [7]

Tabulka 8. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam SA6 [7]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
50	1920	1440
60	1920	1440
125	1920	1440
250	1920	1440
500	1920	1440
1125	1920	1440
1500	1920	1080
2000	1280	1024
3000	1280	768
4000	1024	512
4500	1024	512
5000	768	512
8000	512	384
12000	512	256
25000	256	128
45000	256	64
75000	256	32

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zasvětit čtenáře do problematiky vysokorychlostních kamer a jejich vývoje. Popsat princip záznamu rychlokamer a důležité parametry pro správnou funkci kamer. Seznámit ho s různými druhy kamer a jejich využitím v průmyslu. Jsou zde popsány vybrané druhy rychlokamer od současných největších výrobců vysokorychlostních kamer.

První černobílou vysokorychlostní kameru vyrobili v roce 1980 s VHS záznamem. Po čtrnácti letech byla vyrobena první digitální rychlokamera s barevným záznamem využívající technologii CMOS. V 21. století už používáme vysokorychlostní kamery s rozlišením Full HD.

Zásadním rozdílem u rychlokamer je použitý druh snímacího senzoru. V současné době se nejvíce používají dva typy CCD a CMOS. Zjistil jsem, že CMOS technologie je výhodnější z hlediska ceny, velikosti a odběru elektrické energie.

Srovnáním jednotlivých druhů kamer jsem dospěl k závěru, že nelze vybrat nejlepší vysokorychlostní kameru. Při koupi rychlokamery je důležité vybrat si dle způsobu jejího využití. Každá kamera je vhodná k záznamu určité činnosti.

Seznam použité literatury

- [1] PATA, Vladimír. *Vysokorychlostní kamerové systémy*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 92s. ISBN 80-720-4480-X.
- [2] *Eadweard Muzbrige*. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Eadweard_Muybridge>.
- [3] *Vysokorychlostní kamery* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.olympus-ims.com/cs/hsv-products/>>.
- [4] MEJZLIK, Tomáš. *Vysokorychlostní kamera v akci* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.tvfreak.cz/vysokorychlostni-kamera-v-akci/3762>>.
- [5] *Vysokorychlostné kamery* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.kamery.sk/kamery-pre-vedu/vysokorychlostne-kamery>>.
- [6] *Slow motion cameras* [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.idtvision.com/imaging/>>.
- [7] *Photron Cameras* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.techimaging.com/photron>>.
- [8] Chronofotografie. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Chronofotografie>>.
- [9] SVOBODA, Štěpán. *Digitální vysokorychlostní kamery pomáhají řešit problémy chodů strojů a výrobních linek* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32518>.
- [10] KOMENDA, Jan. *Co je to vysokorychlostní kamera ?* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychlokamery/133-vysokorychlostni-kamera.html>>.

Seznam použitých symbolů

s	sekunda
Ms	milisekunda
μs	mikrosekunda
V	volt
Mpx	megapixel
MHz	megahertz
Hz	hertz
MB	Megabajt
GB	Gigabajt
Fps	Frame per sekund
Mm	milimetr
°C	stupeň Celsia
VHS	Video Home Systém (=druh záznamu)
S-VHS	Super Video Home Systém (=druh záznamu)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (=druh snímacího senzoru)
CCD	Charge Coupled Devide (=druh snímacího senzoru)
ADC	Aliasing Successive approximation (=druh snímacího senzoru)
HD	High definitiv (=rozlišení 1280 x 720 pixelů)
Full HD	Full High definitiv (=rozlišení 1920 x 1080 pixelů)
CDU	Camera Display Unit (=ovladač displeje)
RCP	Remote Control Pad (=dálkové ovládání)
LED	Light Emitting Diodes (=světlo vyzařující dioda)
PAL	Phase Alternating Line (=druh signálu)
NTSC	National Television Systém Committee (=druh signálu)
USB	Universal Seriál Bus (=univerzální sériová sběrnice)
LCD	Liquid Crystal Display (=displej z tekutých krystalů)
CRT	Cathode Ray Tube (=typ obrazovky)
PC	Personal Computer (=domácí počítač)
TV	Televison (=televize)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International (=rozhraní pro paměťové karty)
SVGA	Super Video Graphic Array (=druh signálu)
AVI	Audio Video Interleave (=formát souboru)
MJPEG	Motion Join Photographic Experts Group (=formát souboru)

Seznam obrázků

Obrázek 1. <i>Kůň v pohybu</i> [2].....	10
Obrázek 2. <i>Příslušenství</i> [1].....	12
Obrázek 3. <i>Kabel konektoru rozšiřujících funkcí</i> [1]	14
Obrázek 4. <i>Vstup spouště/spínač spouště</i> [1].....	15
Obrázek 5. <i>Vstup synchronizace</i> [1]	16
Obrázek 6. <i>Ovládání ostření kamery</i> [1]	18
Obrázek 7. <i>Popis jednotky RCP</i> [1].....	18
Obrázek 8. <i>Napájecí zdroj/síťová šňůra</i> [1]	19
Obrázek 9. <i>Ovladač displeje (CDU)</i> [1]	19
Obrázek 10. <i>Kamera Olympus i-Speed LT</i>	22
Obrázek 11. <i>Kamera Olympus i-Speed 2</i> [3]	23
Obrázek 12. <i>Kamera Olympus i-Speed 3</i> [3]	25
Obrázek 13. <i>Kamera IDT Redlake MotionScope M5</i> [6].....	27
Obrázek 14. <i>Kamera IDT Redlake MotionXtra NX Air 7</i> [6]	28
Obrázek 15. <i>Kamera IDT Redlake MotionPro Y7</i> [6]	29
Obrázek 16. <i>Kamera Photron Fastcam MH4</i> [7]	30
Obrázek 17. <i>Kamera Photron Fastcam IS-1M</i> [7]	31
Obrázek 18. <i>Kamera Photron Fastcam SA6</i> [7].....	32

Seznam tabulek

Tabulka 1. Stavby signalizované LED kontrolkou [1]	13
Tabulka 2. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed LT [5].....	23
Tabulka 3. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 2 [5]	24
Tabulka 4. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 3 [5]	26
Tabulka 5. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro MotionScope M5 [6].....	28
Tabulka 6. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam MH4 [7].....	30
Tabulka 7. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam IS-1M [7]	31
Tabulka 8. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam SA6 [7]	33



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MOŽNÉ APLIKACE VYSOKORYCHLOSTNÍCH KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ (VKS) V PRŮMYSLU

POSSIBLE APPLICATIONS OF HIGH-SPEED CAMERA SYSTEMS IN INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ SYCHRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JANA DOŇAROVÁ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Sychra

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možné aplikace vysokorychlostních kamerových systémů (VKS) v průmyslu

v anglickém jazyce:

Possible Applications of High-Speed Camera Systems in Industry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat rešerši na dané téma, konkrétní aplikace

Cíle bakalářské práce:

- základní pojmy a možnosti VKS
- charakteristika kamerových systémů různých výrobců

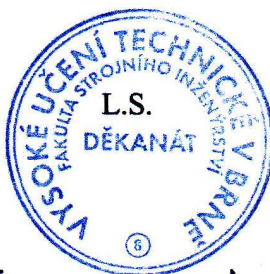
Seznam odborné literatury:

Vladimír Pata - Vysokorychlostní kamerové systémy (CERM, 2006)

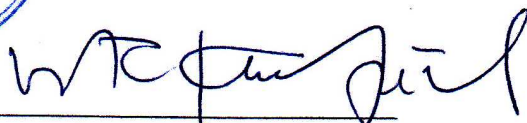
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Doňarová, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 19.11.2012



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Tato práce je rozdělena do několika hlavních částí. Nejdříve Vás seznámí s historií a problematikou vysokorychlostních kamerových systémů. Poté budete seznámeni se současnými největšími výrobci vysokorychlostních kamer. A dále se práce zaměřuje na charakteristiku kamerových systémů od zmíněných výrobců a možnosti jejich využití v průmyslu.

Klíčová slova

Vysokorychlostní kamerové systémy, Olympus i-SPEED, IDT Redlake, Photron.

Abstract

This thesis is divided into several major parts. First part of this thesis describes basic principles of high speed cameras systems and it also describes history of cameras. Second part of this thesis describes the biggest actual producers of high speed camera systems. And further thesis is focused on characteristics of the camera systems from these products and their use in industry.

Key words

High-speed camera systems, Olympus i-Speed, IDT Redlake, Photron.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

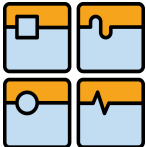
V Brně dne 19. 5. 2013

Poděkování

Děkuji tímto mé vedoucí Ing. Janě Doňarové, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt	5
Klíčová slova.....	5
Abstract	5
Key words	5
Úvod.....	9
1 Historie	10
2 Detailní popis vysokorychlostní kamery i-Speed 2 a jejího příslušenství	12
2.1 Příslušenství	12
2.2 Názvy a funkce dílů kamery i-Speed 2	12
2.2.1 Kamera	12
2.2.2 Dálkové ovládání (RCP)	18
2.2.3 Napájecí zdroj/síťová šňůra	19
2.2.4 Ovladač displeje (CDU)	19
3 Princip záznamu a důležité parametry	20
4 Charakteristika kamerových systémů různých výrobců	21
4.1 Olympus i-Speed	21
4.1.1 i-Speed LT	22
4.1.2 i-Speed 2	23
4.1.3 i-Speed 3	25
4.2 IDT Redlake	27
4.2.1 MotionScope M5	27
4.2.2 MotionXtra NX Air 7	28
4.2.3 MotionPro Y 7	29
4.3 Photron	29
4.3.1 Fastcam MH4	29
4.3.2 Fastcam IS-1M	30
4.3.3 Fastcam SA6	32
Závěr	34
Seznam použité literatury.....	35
Seznam použitých symbolů	36
Seznam obrázků.....	37
Seznam tabulek	38

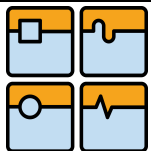
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Úvod

Vysokorychlostní kamery jsou v průmyslu využívány všude tam, kde je potřeba zachytit procesy, které jsou lidským okem nepostřehnutelné. Stále rostou požadavky na zdokonalování výrobních procesů a kontrolu jejich správné funkce, k čemuž kamery napomáhají.

Vysokorychlostní digitální kamery vytváří obrazový záznam velmi vysokou frekvencí snímání. To umožňuje prohlédnutí procesů či objektů, které se velmi rychle pohybují nebo u nich dochází k velmi rychlým změnám. Tyto procesy jsou příliš rychlé na to, aby je zachytilo lidské oko nebo obyčejná videokamera. Vysokorychlostní kamery mohou být černobílé i barevné. Černobílé kamery se používají hlavně pro vědecké účely z důvodu lepšího kontrastu a díky tomu přesnějšímu odečítání hodnot. Další výhodou černobílé kamery je menší objem zpracovávaných a přenášených dat, což umožňuje používat úložiště s menší kapacitou nebo pořizovat delší záznamy.

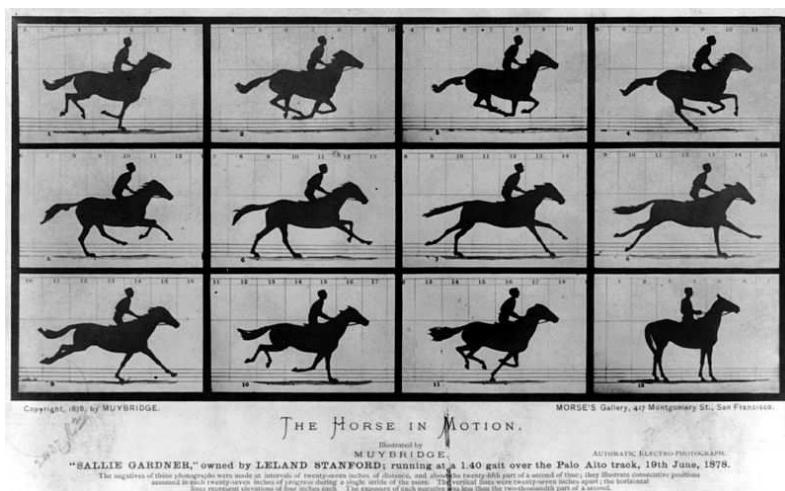
Cílem práce je seznámit čtenáře s vývojem a principem vysokorychlostních kamerových systému. Dále porovnává jejich dnešní největší výrobce a možnosti využití těchto kamer v průmyslu.



1 Historie

Vývoj kamer je úzce spjatý s vývojem fotoaparátů. Kamera je v podstatě typ fotoaparátu, který pořizuje mnoho snímků ve velké rychlosti za sebou a díky tomu se snímky jeví jako souvislý obraz.

Anglický fotograf a vynálezce Eadweard Muybridg, který se proslavil studií pohybu a používáním několika fotoaparátů zároveň, dokázal v roce 1878 pomocí série rychle po sobě jdoucích snímků, že kůň při klusu má všechny čtyři nohy ve vzduchu. Dosáhl toho tak, že přes dráhu natáhl provázky, které v okamžiku, kdy je kůň přetrhl, postupně uvolňovali pružinové závěrky 24 fotografických přístrojů. Již tenkrát Muybridg použil expoziční doby až 1/6000 sekundy.

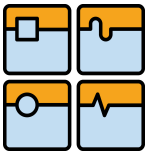


Obrázek 1. Kůň v pohybu [2]

První kameru, která byla zároveň projektorem i kopírkou, vynalezli bratři Lumiérové. Přístroj nechali patentovat jako kinematograf v roce 1895.

Americký inženýr Harold Eugene Edgeton vyvinul v roce 1931 elektronické výbojkové světlo, se kterým vyrobil blesky o 1/500 000 sekundy, což mu umožnilo vyfotografovat letící kulku.

Videokamery zažívají největší rozmach v druhé polovině 20. století. V roce 1948 definovala společnost filmových a televizních techniků tzv. vysokorychlostní fotografii jako skupinu po sobě jdoucích snímků zachycených s rychlostí alespoň 128 snímků/s. Lidské oko je schopno zachytit 20 – 25 obrázků/s, takže základní rychlost snímkování nám umožní pozorovat děj asi s šestinásobným zpomalením.

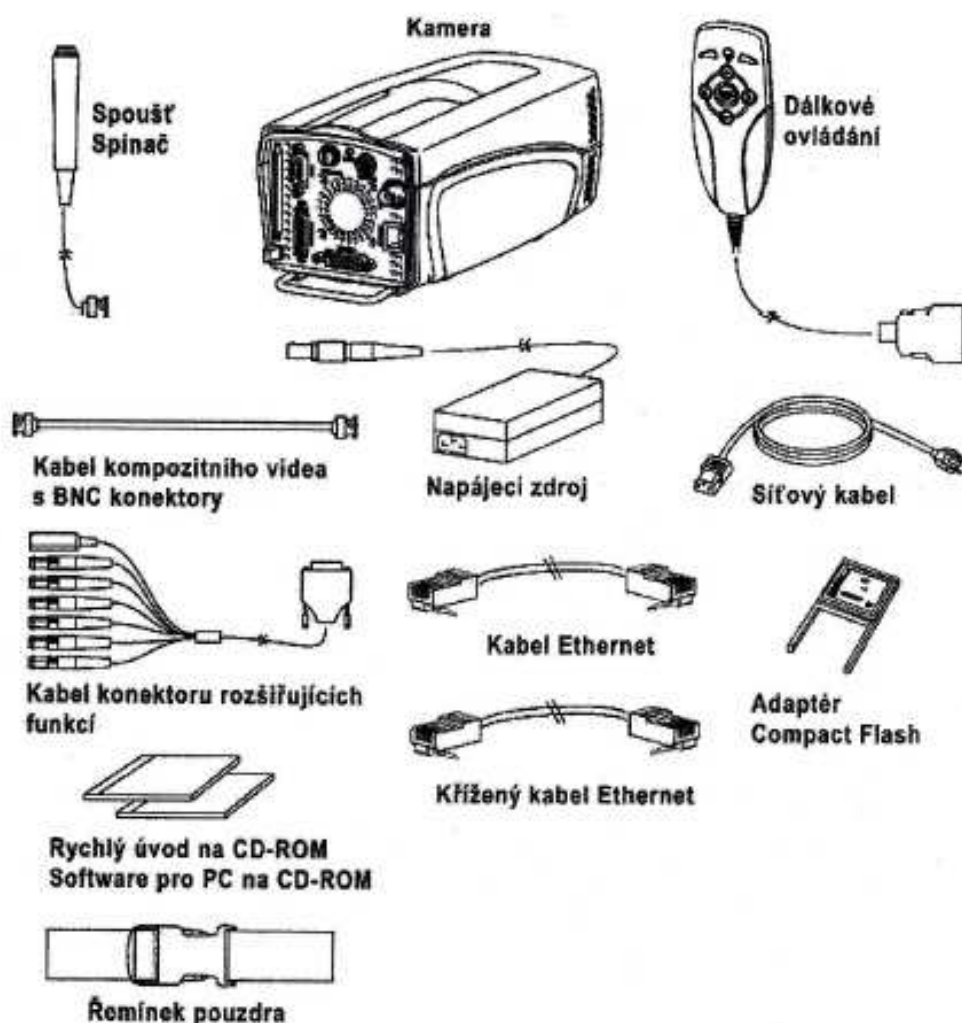
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Významná data v historii vysokorychlostních kamer:

- 1980 – První vysokorychlostní kamera využívající VHS záznam.
- 1983 – První vysokorychlostní kamera specializovaná pro vojenské účely.
- 1985 – První vysokorychlostní kamera specializovaná pro využití ve vzduchu.
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající S-VHS záznam.
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající technologii CMOS.
- 1994 – Byla vyrobena první barevná vysokorychlostní kamera.
- 1994 – První vysokorychlostní digitální kamera využívající CMOS technologii.
- 1995 – První tříčipová vysokorychlostní digitální kamera.
- 1997 – První vysokorychlostní kamerový systém schopný ukládat digitální i analogový záznam na pásku S-VHS.
- 2003 – První jednočipová vysokorychlostní digitální kamera s HD rozlišením.
- 2005 - Vznikla vysokorychlostní kamera s rozlišením full HD, která se používá nejen na zpomalené záběry, ale i na přenos živého vysílání během sportovních utkání.

2 Detailní popis vysokorychlostní kamery i-Speed 2 a jejího příslušenství

2.1 Příslušenství



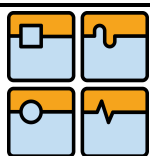
Obrázek 2. Příslušenství [1]

2.2 Názvy a funkce dílů kamery i-Speed 2

2.2.1 Kamera

1) Napájecí konektor

Napájecí konektor na zadním panelu je určen k přivedení napájecího napětí kamery se jmenovitou hodnotou 12Vss. Toto napájení zajišťuje provoz kamery ale také jednotek CDU nebo RCP. Napájecí vstup je chráněn před prepólováním a záměna polarity v běžných případech vede jen ke spálení pojistky. [1]



2) LED kontrolka zapnutí

LED kontrolka zapnutí se rozsvítí, pokud je připojeno napětí 12 V a pojistka je v pořádku. [1]

3) Pojistka

Pojistku může uživatel vyměnit a dostane se k ní vyšroubováním držáku pojistky. Při výměně pojistky je nutno dávat pozor a použít pojistku správné velikosti, typu a hodnoty. [1]

4) BNC konektor kompozitního videa

Tento konektor poskytuje standardní kompozitní barevný video signál PAL nebo NTSC pro video monitor. BNC je průmyslový standard připojení tohoto typu signálu a součástí dodávky je kabel kompozitního videa s BNC konektory. Video signál na tomto konektoru lze v menu jednotky CDU přepnout na NTSC nebo PAL dle potřeby. [1]

5) Ovládací konektor

Tento konektor umožňuje připojit ke kameře jednotku CDU nebo RCP. Zajišťuje napájení jednotky RCP nebo CDU z kamery, přenos video signálu z kamery do jednotky CDU a přenos informací o stiscích tlačítek z jednotek RCP nebo CDU do kamery. [1]

6) Konektor Ethernet

Tento konektor je standardní konektor RJ45 se dvěma zabudovanými LED kontrolkami navíc. Signál odpovídá normě Ethernet 10-T nebo Ethernet 100-T a systém Olympus i-SPEED se automaticky přizpůsobí síti, k níž je připojen. Kabel Ethernet od zařízení musí být připojen k rozbočovači Ethernet, i když pomocí kříženého kabelu lze zařízení přímo připojit k PC/přenosnému počítači. Silně doporučujeme, aby všechny prvky použité v síti Ethernet podporovaly normu 100-T, protože tak lze využít vyšší provozní rychlost síťové karty zabudované v kameře. LED kontrolky zabudované v konektoru Ethernet slouží k diagnostickým účelům a signalizují následující stavy: [1]

Tabulka 1. Stavy signalizované LED kontrolkou [1]

LED u horní strany kamery	100 MHz připojení
LED u dolní strany kamery	100 MHz připojení
Červená barva.....	Poloduplexní komunikace
Zelená barva.....	Plněduplexní komunikace
Svítlí.....	Zařízení jsou elektricky propojena
Bliká.....	Probíhá přenos dat

7) Konektor SVGA

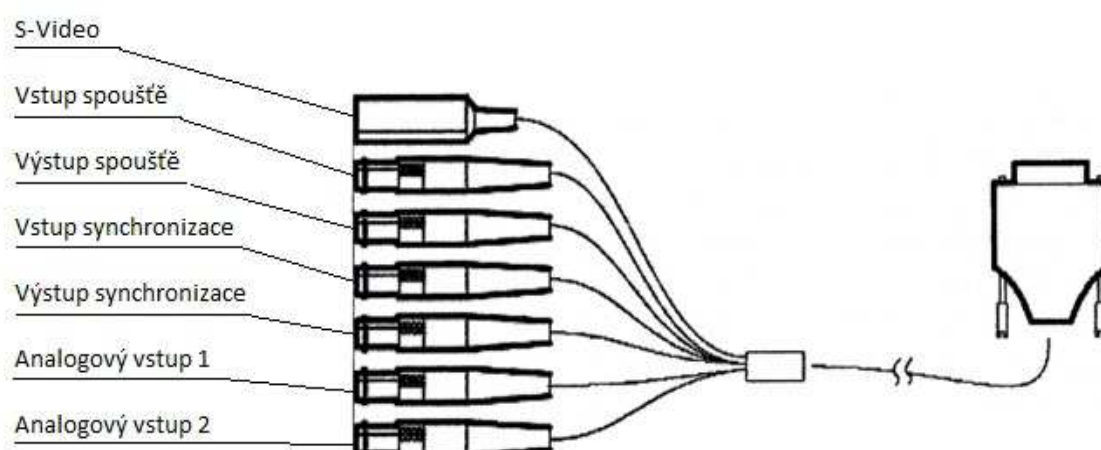
Na tomto konektoru je signál SVGA s video obrazem a přes něj zobrazovanou grafikou. Pokud je použita jednotka CDU, je na tomto konektoru kopie obrazu z CDU. Výstupní signál je 60Hz videosignál PC standardu SVGA a konektoru je běžný 15kolíkový D-sub video konektor PC. Proto lze tento signál propojit přímo k PC monitoru (LCD nebo CRT) a získat tak nejlepší možnou kvalitu živého analogového obrazu z kamery. [1]

8) PCMCIA slot

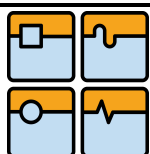
Kamera dokáže pracovat s flash pamětí ve formátu PCMCIA. Lze použít karty standardu ATA FLASH s napájením 3,3 nebo 5V. Pomocí dodávaného PCMCIA adaptéru lze použít i karty Compact Flash, které doporučujeme, pokud potřebujete větší paměťovou kapacitu. Po vložení je nutno kartu silou zasunout až na doraz; vyjmout ji lze po stisku tlačítka na dolní straně slotu. Před vyjmutím nebo vložení karty není nutno vypínat napájení, ale dejte pozor, ať kartu nevyjmete v době, kdy probíhá zápis, mazání nebo formátování. [1]

9) Konektor rozšiřujících funkcí/kabel konektoru rozšiřujících funkcí

Tento konektor obsahuje řadu signálů. Jsou shromážděny do jednoho konektoru, aby mohl být zadní panel kamery menší a aby tedy bylo možno vyrobit co nejmenší kameru. Signály z tohoto konektoru lze získat připojením standardně dodávaného kabelu konektoru rozšiřujících funkcí, zakončeného řadou konektorů s níže uvedeným označením: [1]



Obrázek 3. Kabel konektoru rozšiřujících funkcí [1]

**Vstup spouště/spínač spouště:**

Tento konektor (a v případě potřeby i dodávaný spínač spouště) slouží ke spuštění kamery během záznamu.

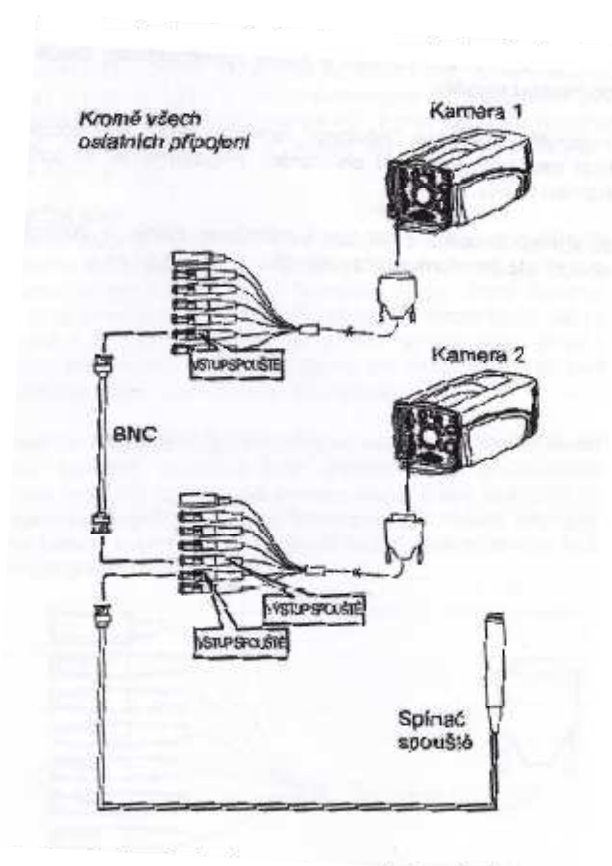
Pokud je spouštění nastaveno na 0%, je počítadlo spouštění nastaveno na plnou délku paměti, takže se snímek pořízený v okamžiku spuštění objeví na začátku (0%) výsledného videoklipu. Pokud je spouštění nastaveno na 100%, záznam se okamžitě zastaví a snímek pořízený v okamžiku spuštění je posledním snímkem výsledného videoklipu.

Signál má úroveň TTL a uživatel si může vybrat aktivaci spouště náběžnou nebo sestupnou hranou signálu.

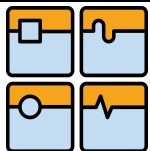
Vstup spouště obsahuje “zdvihací” resistor, takže lze dodávaný spínač spouště používat bez zapojení další elektroniky. [1]

Výstup spouště:

Tento výstup je slučitelný s úrovní TTL a je na něm puls o šířce 1 mikrosekunda, aktivní v úrovni H. Tímto konektorem lze aktivovat záznam další kamery na konci záznamové doby této kamery. Tak lze zřetěžit více kamer. [1]

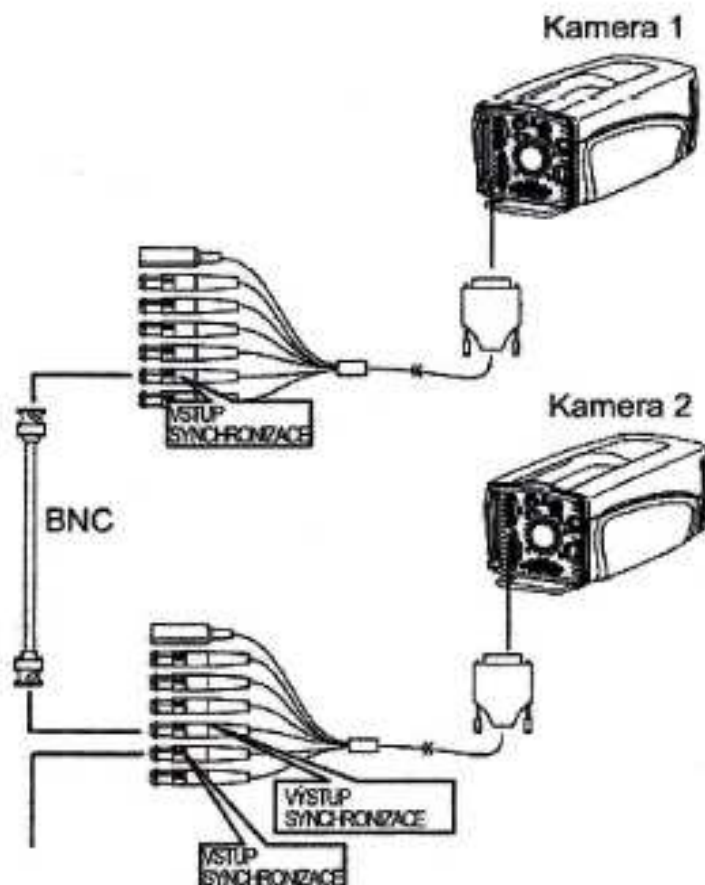


Obrázek 4. Vstup spouště/spínač spouště [1]

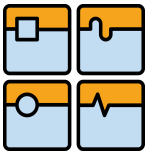
**Vstup synchronizace:**

Snímkový kmitočet kamery může být určen vnějším zařízením, nejčastěji další kamerou. V tom případě se kamera nejen přizpůsobí snímkovému kmitočtu připojené kamery, ale také pořizuje snímky v přesně stejný okamžik jako připojená kamera (± 25 ns). Tak lze jeden jev sledovat více kamerami a snímky budou přesně synchronizované. Vstup je slučitelný s úrovní TTL a reaguje na puls aktivní v úrovni H, jehož náběžná hrana představuje začátek integrační fáze.

Kamera tento vstup neustále sleduje a informuje uživatele o zjištěných vstupních synchronizačních pulsech. Při zjištění pulsů na tomto vstupu kamera změní snímkový kmitočet a nabídne uživateli možnost automatické konfigurace synchronizovaného snímání. [1]



Obrázek 5. Vstup synchronizace [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Výstup synchronizace:

Tento signál je slučitelný s úrovní TTL a je to puls aktivní v úrovni H se šířkou 1 mikrosekunda, jehož náběžná hrana představuje začátek integrační fáze. Slouží k synchronizaci dalších kamer i-SPEED. [1]

Analogový vstup 1 a 2:

Kromě záznamu videa dokáže kamera Olympus i-SPEED zaznamenávat dva analogové signály. Jsou digitalizovány s rozlišením 8 bitů a uloženy ve vnitřní vyrovnávací paměti spolu s videem. Signály lze dle potřeby zobrazit na obrazovce jednotky CDU nebo PC. Signály jsou vzorkovány kmitočtem souvisejícím se snímkovým kmitočtem, přičemž poměr těchto kmitočtů lze nastavit v menu. Kmitočet vzorkování lze nastavit v rozmezí 1 vzorek dat na 1 snímek až 100 vzorků dat na 1 snímek, takže maximální počet vzorků za sekundu je 100000. [1]

Výstup S-Video:

Na tomto výstupu je kopie kompozitního video signálu (z konektoru BNC), ale ve formátu S-Video (někdy také nazývaným Y/C).

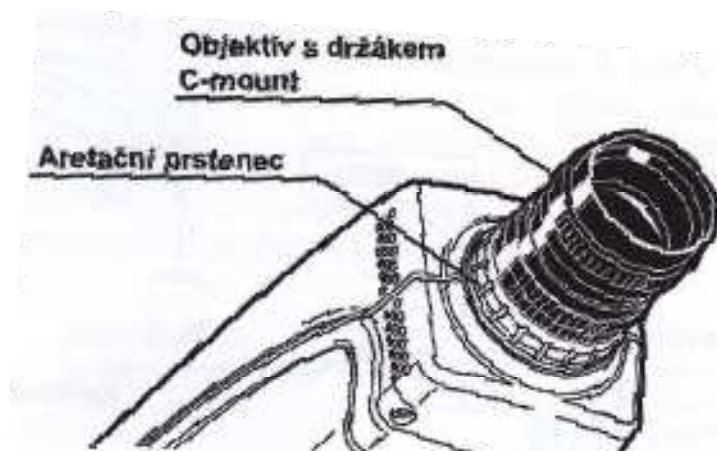
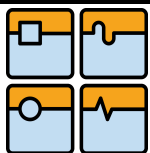
Díky specifikaci normy S-Video je tento signál o něco kvalitnější než běžnější kompozitní video signál. [1]

10) Chladicí otvory

V zadním panelu je řada chladicích otvorů další jsou na bocích přední části skříňky kamery. Vnější otvory na zadním panelu a otvory v přední části kamery jsou vstupy vzduchu a kruhově uspořádané otvory na zadním panelu jsou výstupy vzduchu. Hlavním důvodem pro zavedení nuceného větrání byla nutnost odstranění přehřátých míst v elektronice kamery a je nutno dávat pozor, aby chladicí otvory nebyly nikdy zakryty nebo ucpány. [1]

11) Ovládání ostření

Někdy je z důvodů použití objektivů různých výrobců nebo objektivů s odlišnými optickými tolerancemi nutno upravit vzdálenost mezi přední stranou C-držáku a obrazkovým snímačem. Kamera Olympus i-SPEED je vybavena ovládáním ostření umístěným na přední straně přístroje. Pokud chcete upravit ostření, našroubujte objektiv do držáku C-mount tak, jako obvykle. Otočením aretačního prstence proti směru hodinových ručiček odjistíte závit držáku C-mount a pak dle potřeby nastavte ostření otáčením objektivu. [1]

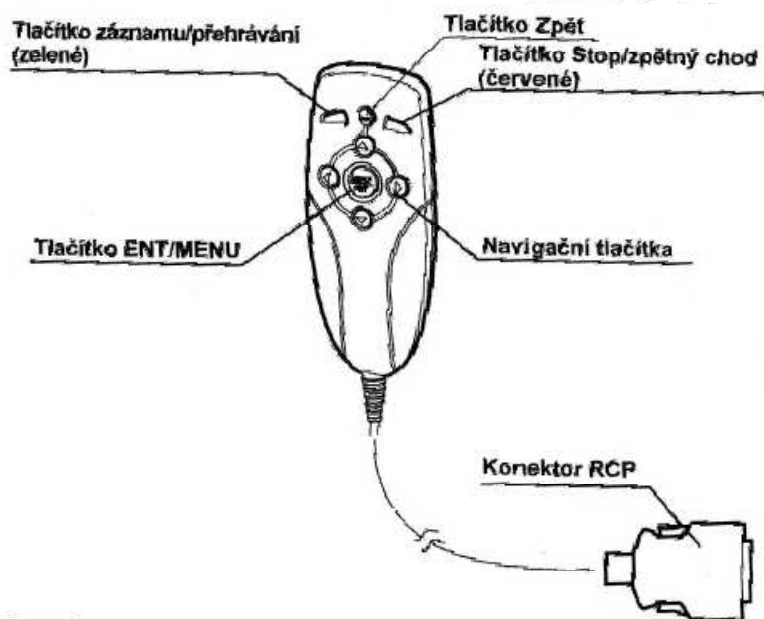


Obrázek 6. Ovládání ostření kamery [1]

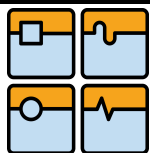
2.2.2 Dálkové ovládání (RCP)

Tento ruční přístroj se připojuje k ovládacímu konektoru kamery a je napájen z kamery. Kamera dokáže rozpoznat připojenou RCP jednotku a zobrazuje pak na PC nebo TV monitoru specializovanou sadu menu. Jednotka RCP slouží k pohybu v tomto systému menu.

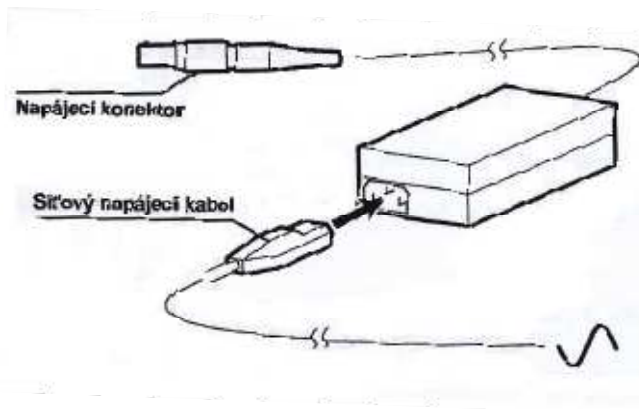
Při přechodu ovládání jednotkou RCP na ovládání jednotkou CDU a naopak je nutno kameru vypnout a zapnout. [1]



Obrázek 7. Popis jednotky RCP [1]



3.2.3 Napájecí zdroj/síťová šňůra



Obrázek 8. Napájecí zdroj/síťová šňůra [1]

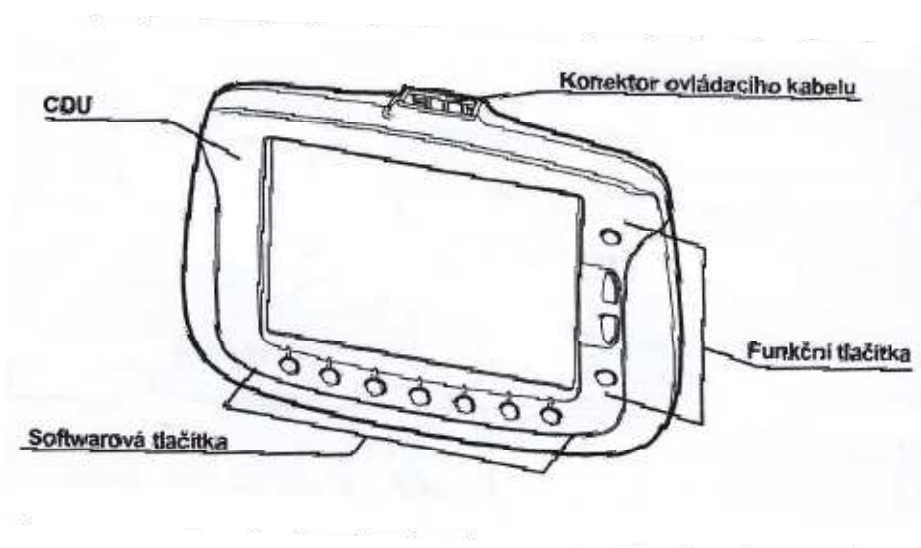
Napájecí zdroj 12 Vss je dodáván s vhodným síťovým napájecím kabelem a musí být uzemněn

Napájecí konektor je připojuje k napájecímu konektoru kamery a zajišťuje napájení kamery a jejích řídicích jednotek. [1]

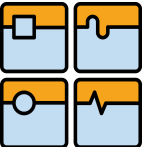
2.2.4 Ovladač displeje (CDU)

Jednotka CDU zobrazuje v reálném čase obraz z kamery a dovoluje maximálně univerzální využívání kamery pomocí řady tlačítek okolo obrazovky. Jednotka CDU se připojuje k ovládacímu konektoru kamery pomocí ovládacího kabelu. Jednotka CDU je napájena z kamery, z níž také přebírá video signál, a nevyžaduje baterie a další propojení.

Kamera dokáže rozpoznat připojenou jednotku CDU a zobrazuje pak na PC nebo TV monitoru specializovanou sadu menu. [1]



Obrázek 9. Ovladač displeje (CDU) [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3 Princip záznamu a důležité parametry

Princip záznamu kamery se dá popsat v pěti částech. V první části dochází k transformaci obrazu pomocí čoček a zrcadel, pak následuje separace barev pomocí filtrů. Dále dochází ke generaci elektrických signálů pro jednotlivé body, a nakonec se ze signálů vytvoří digitální data. Data se většinou nezapisují přímo na paměťovou kartu nebo pevný disk, ale na rychlou interní paměť, ze které jsou archivována až následně.

O první čtyři kroky se stará obrazový senzor využívající čip CCD nebo CMOS. Oba senzory využívají fotocitlivé buňky umístěné na ploše čipu, které zaznamenají proud fotonů, a podle jeho velikosti určí jas obrazu. Oba čipy také využívají barevné filtry sloužící k rozdělení obrazu na 3 základní barevné složky: červenou, zelenou a modrou. Pokud známe v každém dostatečně malém bodě jas zelené, červené a modré barvy, jsme schopni zobrazit všechny barvy vnímatelné lidským zrakem. [5]

První rozdíl v obou technologiích snímání obrazu se objevuje při zpracování dat z čipu. CCD nemá v okolí buňky žádnou elektroniku a signály odchází postupně z jednotlivých buněk do řídicí elektroniky. CMOS disponuje u každé buňky jednoduchým obvodem, který se stará o zesílení a přenos signálu do procesoru pro každou buňku zvlášť. I proto je světlocitlivá plocha jednotlivých buněk na CMOS menší než u CCD, ale na druhou stranu to umožňuje zmenšení počtu obvodů, které musejí signál zpracovávat po odchodu ze snímače. CMOS technologie je tedy celkově méně náročná na prostor, ale i na odběr elektrické energie. [5]

Důležitým parametrem, který výrazně ovlivňuje nároky na výsledný datový tok, je rozlišení obrazu. Sděluje nám, kolik bodů dokáže kamera zaznamenat a tím pak určuje kvalitu a velikost obrazu, také však velikost záznamu. Například kamery s rozlišením full HD, mají velikost jednoho snímku 6 MB (3 barevné složky, každá s hloubkou 8 bitů), takže 1 s záznamu s rychlostí 2000 snímků za sekundu zabírá téměř 12 GB paměti. [5]

Z hlediska světelných nároků patří mezi hlavní parametry rychlost závěrky, neboli expoziční čas, který vyjadřuje dobu, po kterou musí být vystaven snímač dopadu světla, aby byla dosažena správná expozice. Aby byl záznam vysokorychlostní, musí být rychlost závěrky menší než 7,8 ms. Průměrné závěrky vysokorychlostních kamer pracují v intervalech 100 μ s a méně, za tak krátkou dobu nestihnou pochyťat dostatek světla, a proto je nezbytné dodatečné osvětlení snímaného předmětu. Výjimkou jsou předměty nebo děje, které jsou samy zdrojem světla (zapalovač, elektrický výboj, výbušniny,...). [5]

4 Charakteristika kamerových systémů různých výrobců

Vysokorychlostní kamery byly dříve velmi nákladnou záležitostí, a proto se používali hlavně na specializovaných pracovištích. V dnešní době počet výrobců VKS narůstá a díky tomu se stávají ekonomicky dostupnější a nachází se pro ně stále širší okruh uplatnění.

K největším výrobcům vysokorychlostních kamer dnes patří firmy Olympus, IDT Redlake a Photron.

Vysokorychlostní kamery jsou využívány zejména v průmyslu, ale můžeme se s nimi setkat i při natáčení filmů.

Možné využití kamer v průmyslu:

V průmyslové výrobě - Diagnostika, nastavování a seřizování výrobních a balících linek. (optimalizace výroby). Rychlé nalezení a odstranění vůle v uložení pohyblivých částí. Nadměrné vibrace objektu. Nesynchronní pohyb mechanických částí atd., které se mohou projevit zvýšenou zmetkovitostí nebo neplánovaným zastavením. Analýzy tvorby třísek. Rázové zkoušky.

V automobilovém průmyslu - Crash testy a zkoumání účinnosti air bagů a bezpečnostních pásů.

Ve zbrojním průmyslu - Především balistické zkoušky, funkční analýzy zbraní a pyrotechnické zkoušky.

V chemickém průmyslu - Pozorování chemických reakcí.

V biomechanice – Měření a posouzení pohybů.

V hutnictví – Kontrola celistvosti při volném výtoku kovů.

4.1 Olympus i-Speed

Firma Olympus je japonská společnost založena v roce 1919, která se zabývá mimo jiného výrobou vysokorychlostních kamerových systémů. Kamery jsou konstruovány jako samostatné jednotky. K ovládání je určen displej CDU (Controller Display Unit), který uživateli umožňuje okamžitou kontrolu, a přezkoumání nasnímaných dějů. Dále je možné ovládat kameru připojením k PC pomocí ethernetového kabelu nebo RCP ovladačem.

Kamery Olympus i-Speed jsou černobílé nebo barevné a mohou ukládat obraz ve dvou různých formátech, v AVI a MJPEG. Všechny kamery Olympus používají pro snímání senzor typu CMOS. Nevýhodou je, že se záznamy neukládají při náhlém vypnutí, a proto je nutné data před vypnutím uložit. Výhodou těchto kamer je možnost různých způsobů ovládání. Olympus v současnosti vyrábí několik druhů vysokorychlostních kamer:

4.1.1 i-Speed LT

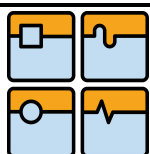
Základním modelem je kamera i-Speed LT. Tahle kamera byla navržena pro aplikace, kde je hlavním požadavkem jednoduché nastavení kamery a snímání děje, při zachování její přenositelnosti, robustní konstrukci a snadnému použití. Rozměry kamery jsou 115 mm (š) x 110 mm (v) x 233 mm (d) a její hmotnost je 2 kg. Napájení je přes napájecí zdroj upraveno na potřebné napětí 12V, kamera poté napájí i všechna zařízení k ní připojena. I-Speed LT je možné napájet i bateriemi.

Interní paměť kamery může být 1GB, 2GB nebo 4GB a lze ji rozšířit pomocí paměťové karty o kapacitě 1GB. S velikostí paměti přímo souvisí i doba záznamu, čím větší je paměť, tím delší záznam můžeme nahrát. Při snímkové frekvenci 1000 snímků za sekundu dosahuje kamera maximálního rozlišení 800 x 600 obrazových bodů. Maximální snímkové frekvence je 2000 snímků za sekundu, při této rychlosti snímkování však dojde k poklesu rozlišení.

Výhodou kamery je možnost jejího rozšíření na i-Speed 2. I-Speed LT je vhodná pro širokou škálu průmyslových odvětví a automatizace, např. sportovní výzkum, laboratorní výzkum, nastavení výrobních a zpracovatelských linek, testování materiálu a různých komponentů, atd.



Obrázek 10. Kamera Olympus i-Speed LT
[3]



Tabulka 2. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed LT [5]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
60	800	600
100	800	600
150	800	600
200	800	600
300	800	600
400	800	600
500	800	600
1000	800	600
1500	672	504
2000	576	432

4.1.2 i-Speed 2

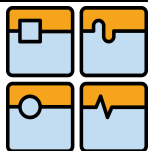
Je další z řady vysokorychlostních kamer Olympus. I-Speed 2 je konstrukčně podobná předchozímu modelu a přináší vylepšení některých funkcí.

Vlastní paměť kamery si můžeme zvolit 2GB nebo 4GB, s rozšířením pomocí paměťové karty o 1GB až 2GB. Rychlost snímání kamery je od 1 do 33000 snímků za sekundu a maximální rozlišení 800 x 600 obrazových bodů při snímkovací frekvenci do 1000 snímků za sekundu.

Mezi výhody i-Speed 2 patří zámek fáze, který umožňuje synchronizovat více kamer. Možnost provozu při současném zapojení CDU a PC. A volitelná video komprese, pro zvýšení množství uložených dat a rychlosti jejich stahování.



Obrázek 11. Kamera Olympus i-Speed 2 [3]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka 3. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 2 [5]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1	800	600
25	800	600
100	800	600
150	800	600
200	800	600
300	800	600
400	800	600
500	800	600
1000	800	600
1500	672	504
2000	576	432
3000	448	336
4000	384	288
5000	320	240
10000	224	168
15000	160	120
20000	128	96
33000	96	72

4.1.3 i-Speed 3

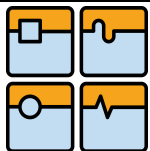
Je nejnovější přírůstek z řady Olympus i-Speed. Kamera poskytuje vysoké rozlišení a extrémně nízkou citlivost na světlo. Její rozměry jsou 112 mm (š) x 141 mm (v) x 341 mm (d) a její hmotnost je 5 kg včetně integrované baterie. Potřebné vstupní napětí je 14 až 28V, na baterii vydrží kamera 45min nepřetržitého provozu.

Kamera je vybavena interní pamětí až 16GB s možností rozšíření, pomocí paměťových karet, na dvounásobnou velikost. I-Speed 3 dokáže snímat rychlostí od 1 do 150000 snímků za sekundu s maximálním rozlišením 1280 x 1024 obrazových bodů při snímkové frekvenci do 2000 snímků za sekundu.

Kamera je vybavena vnějšími LED indikátory pro potvrzení stavu činnosti kamery, tato funkce je označena jako i-CHEQ. Další z nových funkcí je i-FOCUS. Je to funkce elektronického potvrzení hloubky ostrosti objektivu a bodu zaostření, což usnadňuje nastavení kamery. Novinkou je také vkládání trvalého textu do jednotlivých snímků.



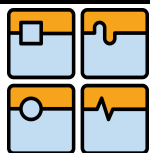
Obrázek 12. Kamera Olympus i-Speed 3 [3]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka 4. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 3 [5]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1	1280	1024
25	1280	1024
100	1280	1024
150	1280	1024
200	1280	1024
300	1280	1024
400	1280	1024
500	1280	1024
1000	1280	1024
1500	1280	1024
2000	1280	1024
3000	1068	800
4000	912	684
5000	804	600
10000	528	396
15000	420	312
20000	348	260
30000	264	196
40000	216	160
50000	180	132
75000	132	96
100000	96	72
125000	72	52
150000	60	44



4.2 IDT Redlake

Integrated Design Tools je americká firma, která vznikla v roce 1997. Specializuje se na vysokorychlostní kamery, s vyšší odolností vůči nárazům, přetížením a teplotám. Všechny kamery používají snímací senzor CMOS. Aktuální nabídka produktů zahrnuje tři série kamer M, NX a Y:

Kamery řady M jsou mimořádně kompaktní. Jsou vyrobeny bez vnitřní paměti, a proto musí být při snímání spojeny s počítačem.

NX kamery jsou stejně kompaktní, ale díky efektivnější konstrukci jsou schopny vyrovnat se i větším kamerám.

Y kamery jsou nejuniverzálnější řadou. Jsou určeny pro široký rozsah aplikací s maximálními nároky na kvalitu výsledku.

4.2.1 MotionScope M5

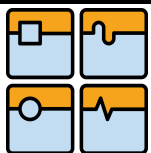
Miniaturní kamera o rozměrech 55 mm (š) x 55 mm (v) x 75 mm (d) a hmotnosti 320g s odolnou konstrukcí. Kamera je napájena vstupním napětím 12V. Je schopná odolávat nárazům a teplotám od -40°C do 50°C.

Kamera nemá svoji vlastní paměť, a tak je doba záznamu dána kapacitou externího pevného disku. M5 dokáže snímat rychlostí až 17200 snímků za sekundu, ale při největším rozlišení, které je 2320 x 1728, dosáhne maximálně rychlosti 170 snímků za sekundu.



Obrázek 13. Kamera IDT Redlake MotionScope M5 [6]

Tato kamera je navržena pro dlouhotrvající záznamy, kdy je potřeba dosáhnout dobré ostrosti a kontrastu obrazu. Proto je vhodná pro použití u montážních linek, kde zpomaluje rychlé tempo automatizace a umožňuje vizuální kontrolu.

Tabulka 5. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro MotionScope M5 [6]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
170	2320	1728
270	2320	1080
285	2320	1024
380	2320	768
570	2320	512
1135	2320	256
2270	2320	128
4450	2320	64
8700	2320	32
17200	2320	16

4.2.2 MotionXtra NX Air 7

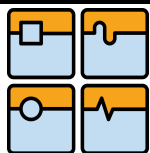
Malá kompaktní kamera o rozměrech 69 mm (š) x 64 mm (v) x 64 mm (d) a hmotnosti 480g. Kamera je plně autonomní, a proto nevyžaduje připojení do konzole. Je opatřena interní baterií a výhodou je možnost řízení přes WiFi.

NXA 7 má svoji vlastní 3GB paměť, rozšiřitelnou na 4-5GB. Snímač má maximální rozlišení 1920 x 1080 bodů při 3000 snímcích za sekundu a dosahuje snímací rychlosti až 47000 snímků za sekundu při rozlišení 112 x 64 bodů.

Díky svým rozměrům, velké odolnosti a schopnosti dálkového řízení se NXA 7 používá při testování airbagů, v letectví a při automobilových crash testech.



Obrázek 14. Kamera IDT Redlake MotionXtra NX Air 7 [6]



4.2.3 MotionPro Y 7

Je nejnovější z řady Y, je vybavena univerzálním integrovaným časovým rozhraním, které umožňuje synchronizaci všech světelných zdrojů, jako jsou lasery a led diody. Při své velikosti 90.5 mm (š) x 90.5 mm (v) x 22 mm (d) ji stále řadíme mezi malé kompaktní kamery, hmotnost má 3.4kg.

Kamera se pyšní velkou vnitřní pamětí 8GB a lze ji rozšířit až na 64GB, což umožňuje záznam dlouhých sekvencí i při plném rozlišení. Snímač poskytuje vynikající výkon, rozlišení 1920 x 1080 bodů při 5000 snímcích za sekundu. Nejvyšší snímkovací frekvence kamery je 32000 snímků za sekundu.



Obrázek 15. Kamera IDT Redlake MotionPro Y7 [6]

Nově se zde objevuje vzdálené ovládání přes WiFi pomocí iPhoneu, iPadu nebo iPodu. Kamera nachází své využití při crash testech, aerodynamických testech a nadzvukové balistice.

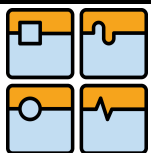
4.3 Photron

Americká společnost založena v roce 1974. Vyrábí vysokorychlostní kamery pro využití ve zpracovatelském průmyslu, lékařství, filmových laboratořích, balistice, biomechanice a automobilovém průmyslu. Jsou vybaveny různými typy snímačů obrazu s rozlišením od 0,26Mpx do 4,2Mpx v provedení pro černobílý i barevný záznam. Včetně klasických kamer s jedním snímačem, vyrábí Photron i kamery s oddělenými externími snímáckými hlavicemi. Některé modely mají odolnou konstrukci a vyšší rázovou odolnost.

Vyráběné kamery můžeme rozdělit do třech hlavních skupin: Ultrarychlé kamery, řada SA a Multihead.

4.3.1 Fastcam MH4

Zařízení ze skupiny multihead, obsahuje 4 hlavy kamer vybaveny snímači CMOS, z nichž každá má velikost 35 mm (š) x 35 mm (v) x 34 mm (d) a váží 0.3 kg. Tyto kamery jsou připojeny k DC procesoru o rozměrech 150 mm (š) x 245 mm (v) x 180 mm (d) a hmotnosti 7.6 kg. Se standardním vestavěným akumulátorem vydrží v provozu 60 minut, pro delší provoz je možné použít rozšiřující baterii nebo zapojení do sítě.



HM4 poskytuje vynikající barevnou citlivost a rychlost 60 až 10000 snímků za sekundu. Nejvyšší rozlišení kamer 512 x 512 pixelů je k dispozici od 60 do 2000 snímků za sekundu. Standardní paměť, 1GB pro každou kameru, je rozšiřitelná na 2GB pro každou hlavu kamery, tedy celkem na 8GB.

Kameru lze ovládat použitím dálkového ovládacího panelu s video přehrávačem, což odstraňuje potřebu připojení počítače pro nastavení nebo provoz nakonfigurovat téměř pro všechny aplikace vyžadující vyšší odolnost vůči přetížení.



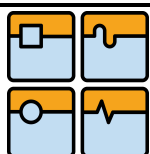
Obrázek 16. Kamera Photron Fastcam MH4 [7]

Tabulka 6. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam MH4 [7]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
250	512	512
500	512	512
1000	512	512
2000	512	512
3000	512	352
4000	512	256
8000	512	128
10000	512	96

4.3.2 Fastcam IS-1M

Tato ultrarychlá kamera patří k nejrychlejším přístrojům pro vysokorychlostní snímání při vysokém rozlišení obrazu. Její snímací senzor IS-CCD je extrémně citlivý na světlo, a díky tomu dokáže zachytit různé děje i při špatných světelných podmínkách. I když je kamera dobře přenosná, velikostně se řadí spíše ke větším kamerám 140 mm (š) x 145 mm (v) x 360 mm (d), hmotnost 5.3 kg.



Ovládána je pomocí počítače přes port USB 2.0. Snímaný děj má rozlišení 312 x 260 pixelů, a v tomto rozlišení dokáže pořizovat záznamy s rychlostí až 1 000 000 snímků za sekundu.

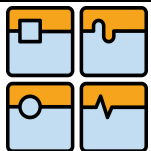
Hlavním rysem této kamery je snímač, který má oblasti ukládání zaznamenaného signálu začleněny přímo do čipu. Díky tomuto unikátnímu řešení bylo dosaženo výraznému urychlení celého procesu od okamžiku zachycení světla až po zpracování výsledného signálu. Využití především v balistice, letectví, výzkumu rázových vln a výbuchů.



Obrázek 17. Kamera Photron Fastcam IS-1M [7]

Tabulka 7. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam IS-1M [7]

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
1000	1024	1024
2000	1024	1024
3000	1024	1024
5000	1024	1024
5400	1024	1024
10000	768	768
15000	768	512
20000	512	512
30000	512	352
75000	512	128
100000	320	128
125000	256	128
180000	128	128
250000	128	80
300000	128	64
500000	64	32
675000	64	16



4.3.3 Fastcam SA6

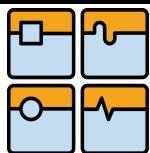
Byla vyvinuta s cílem umožnit vysoké rozlišení a detailní vysokorychlostní analýzu v mnoha oblastech. Je vybavena senzorem ADC. Kameru lze řídit dálkovým ovládacím panelem nebo přes počítač, je také plně kompatibilní s jednotkou pro ovládání více kamer současně. Rozměry kamery jsou 165 mm (š) x 153 mm (v) x 250 mm (d) a její hmotnost je 6.9 kg.

SA6 se vyrábí ve třech paměťových provedeních 8, 16, 32GB. Díky citlivému snímači může pracovat v horších světelných podmínkách a přináší dobrou kvalitu obrazu a věrnost barev. Systém poskytuje 1920 x 1440 pixelů rozlišení obrazu, při rychlosti 1125 snímků za sekundu a při Full HD rozlišení rychlost 1500 snímků za sekundu.

Kamera se používá v automobilovém průmyslu při bezpečnostních testech, v letectví a při zkoumání dynamiky kapalin.



Obrázek 18. Kamera Photron Fastcam SA6 [7]

Tabulka 8. *Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam SA6 [7]*

Počet snímků za sekundu [fps]	Maximální rozlišení	
	Horizontálně [bodů]	Vertikálně [bodů]
50	1920	1440
60	1920	1440
125	1920	1440
250	1920	1440
500	1920	1440
1125	1920	1440
1500	1920	1080
2000	1280	1024
3000	1280	768
4000	1024	512
4500	1024	512
5000	768	512
8000	512	384
12000	512	256
25000	256	128
45000	256	64
75000	256	32

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zasvětit čtenáře do problematiky vysokorychlostních kamer a jejich vývoje. Popsat princip záznamu rychlokamer a důležité parametry pro správnou funkci kamer. Seznámit ho s různými druhy kamer a jejich využitím v průmyslu. Jsou zde popsány vybrané druhy rychlokamer od současných největších výrobců vysokorychlostních kamer.

První černobílou vysokorychlostní kameru vyrobili v roce 1980 s VHS záznamem. Po čtrnácti letech byla vyrobena první digitální rychlokamera s barevným záznamem využívající technologii CMOS. V 21. století už používáme vysokorychlostní kamery s rozlišením Full HD.

Zásadním rozdílem u rychlokamer je použitý druh snímacího senzoru. V současné době se nejvíce používají dva typy CCD a CMOS. Zjistil jsem, že CMOS technologie je výhodnější z hlediska ceny, velikosti a odběru elektrické energie.

Srovnáním jednotlivých druhů kamer jsem dospěl k závěru, že nelze vybrat nejlepší vysokorychlostní kameru. Při koupi rychlokamery je důležité vybrat si dle způsobu jejího využití. Každá kamera je vhodná k záznamu určité činnosti.

Seznam použité literatury

- [1] PATA, Vladimír. *Vysokorychlostní kamerové systémy*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 92s. ISBN 80-720-4480-X.
- [2] *Eadweard Muzbrige*. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Eadweard_Muybridge.
- [3] *Vysokorychlostní kamery* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.olympus-ims.com/cs/hsv-products/>.
- [4] MEJZLIK, Tomáš. *Vysokorychlostní kamera v akci* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/vysokorychlostni-kamera-v-akci/3762>.
- [5] *Vysokorychlostné kamery* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.kamery.sk/kamery-pre-vedu/vysokorychlostne-kamery>.
- [6] *Slow motion cameras* [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.idtvision.com/imaging/>.
- [7] *Photron Cameras* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.techimaging.com/photron>.
- [8] Chronofotografie. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Chronofotografie>.
- [9] SVOBODA, Štěpán. *Digitální vysokorychlostní kamery pomáhají řešit problémy chodů strojů a výrobních linek* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32518.
- [10] KOMENDA, Jan. *Co je to vysokorychlostní kamera ?* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychlokamery/133-vysokorychlostni-kamera.html>.

Seznam použitých symbolů

s	sekunda
Ms	milisekunda
μs	mikrosekunda
V	volt
Mpx	megapixel
MHz	megahertz
Hz	hertz
MB	Megabajt
GB	Gigabajt
Fps	Frame per sekund
Mm	milimetr
°C	stupeň Celsia
VHS	Video Home Systém (=druh záznamu)
S-VHS	Super Video Home Systém (=druh záznamu)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (=druh snímacího senzoru)
CCD	Charge Coupled Devide (=druh snímacího senzoru)
ADC	Aliasing Successive approximation (=druh snímacího senzoru)
HD	High definitiv (=rozlišení 1280 x 720 pixelů)
Full HD	Full High definitiv (=rozlišení 1920 x 1080 pixelů)
CDU	Camera Display Unit (=ovladač displeje)
RCP	Remote Control Pad (=dálkové ovládání)
LED	Light Emitting Diodes (=světlo vyzařující dioda)
PAL	Phase Alternating Line (=druh signálu)
NTSC	National Television Systém Committee (=druh signálu)
USB	Universal Seriál Bus (=univerzální sériová sběrnice)
LCD	Liquid Crystal Display (=displej z tekutých krystalů)
CRT	Cathode Ray Tube (=typ obrazovky)
PC	Personal Computer (=domácí počítač)
TV	Televison (=televize)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International (=rozhraní pro paměťové karty)
SVGA	Super Video Graphic Array (=druh signálu)
AVI	Audio Video Interleave (=formát souboru)
MJPEG	Motion Join Photographic Experts Group (=formát souboru)

Seznam obrázků

Obrázek 1. <i>Kůň v pohybu</i> [2].....	10
Obrázek 2. <i>Příslušenství</i> [1].....	12
Obrázek 3. <i>Kabel konektoru rozšiřujících funkcí</i> [1]	14
Obrázek 4. <i>Vstup spouště/spínač spouště</i> [1].....	15
Obrázek 5. <i>Vstup synchronizace</i> [1]	16
Obrázek 6. <i>Ovládání ostření kamery</i> [1]	18
Obrázek 7. <i>Popis jednotky RCP</i> [1].....	18
Obrázek 8. <i>Napájecí zdroj/síťová šňůra</i> [1]	19
Obrázek 9. <i>Ovladač displeje (CDU)</i> [1]	19
Obrázek 10. <i>Kamera Olympus i-Speed LT</i>	22
Obrázek 11. <i>Kamera Olympus i-Speed 2</i> [3]	23
Obrázek 12. <i>Kamera Olympus i-Speed 3</i> [3]	25
Obrázek 13. <i>Kamera IDT Redlake MotionScope M5</i> [6].....	27
Obrázek 14. <i>Kamera IDT Redlake MotionXtra NX Air 7</i> [6]	28
Obrázek 15. <i>Kamera IDT Redlake MotionPro Y7</i> [6]	29
Obrázek 16. <i>Kamera Photron Fastcam MH4</i> [7]	30
Obrázek 17. <i>Kamera Photron Fastcam IS-1M</i> [7]	31
Obrázek 18. <i>Kamera Photron Fastcam SA6</i> [7].....	32

Seznam tabulek

Tabulka 1. Stavby signalizované LED kontrolkou [1]	13
Tabulka 2. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed LT [5].....	23
Tabulka 3. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 2 [5]	24
Tabulka 4. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro i-Speed 3 [5]	26
Tabulka 5. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro MotionScope M5 [6].....	28
Tabulka 6. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam MH4 [7].....	30
Tabulka 7. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam IS-1M [7]	31
Tabulka 8. Závislost rozlišení na snímkovací frekvenci pro Fastcam SA6 [7]	33