

# Jednokamerový systém pro sledování objektů

Technická zpráva - FIT - VG20102015006 – 2013 - 03

Ing. Filip Orság, Ph.D.



Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

10. ledna 2014

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou vývoje zařízení pro účely sledování objektů pro aplikace v bezpečnostních systémech. Konkrétně je popsáno řešení kamerové hlavy vlastní konstrukce s objektivem s proměnnou ohniskovou vzdáleností, který umožní sledování objektů na vzdálenost několika kilometrů a dalšími prvky sloužícími pro řízení kamery. Koncepčně je představen i výhled na konstrukci nosného mechanismu s manipulátorem, dotekovým panelem a s integrovaným výpočetním systémem.

# Obsah

1 Úvod .....	1
1.1 Motivace .....	1
1.2 Cíle práce .....	1
2 Návrh kamerového systému pro sledování objektů .....	2
2.1 Prvky technického vybavení kamerového systému.....	2
2.2 Přenos a uložení dat.....	5
2.2.1 Prvotní systémové optimalizace návrhu .....	5
2.2.2 Požadavky na datové toky .....	6
2.2.3 Přenos dat.....	7
2.2.4 Kritická místa přenosu dat .....	9
2.2.5 Datová propustnost prvků hlavního výpočetního systému.....	9
2.2.6 Shrnutí.....	13
3 Zhotovení kamerového systému .....	13
3.1 Kamera.....	13
3.2 Objektiv .....	14
3.3 Mechanická konstrukce jedno-kamerového systému.....	15
3.4 Elektronický systém kamerového systému.....	16
3.4.1 Elektronika kamerové hlavy .....	16
3.4.2 Firmware elektroniky kamerové hlavy .....	17
3.4.3 Hlavní výpočetní systém.....	17
3.4.4 Vlastní návrh hlavního výpočetního systému.....	18
3.4.5 Návrh sestavy výpočetního systému .....	22
3.5 Shrnutí .....	22
4 Závěr .....	23
5 Literatura .....	25

# 1 Úvod

V následující kapitole se stručně zaměřím na úvod do problematiky kamerových systémů pro účely bezpečnostních aplikací a představím cíle práce.

## 1.1 Motivace

V posledních letech jsme mohli zaznamenat velký nárůst v oblasti trhu s digitálními kamerami, který byl způsoben velmi rychlým vývojem v oblasti elektroniky a především CMOS a CCD čipů, které se používají jako hlavní prvky snímacích zařízení. Cena kvalitních snímačů klesla, stejně jako i cena veškeré elektroniky, což způsobuje dostupnost dostatečného výpočetního výkonu pro tak náročné aplikace, jakými jsou například aplikace pro zpracování videa. Možností nasazení a použití kamer je mnoho. Velkou oblastí zájmu nasazení kamerových systémů jsou například dohledové systémy, které mají za úkol sledovat určitou vymezenou oblast v dohledu kamery za různým účelem (nejčastěji za účelem ochrany majetku nebo zdraví osob).

Pro účely ochrany majetku nebo osob lze nasadit kamerový dohledový systém ve spojení s operátorem, který analyzuje situaci manuálně. Tento způsob analýzy je však nevhodný, neboť operátor není schopen zpracovat obraz ze všech kamer, kterých bývá v systému víc, především proto, že pozornost člověka velmi rychle klesá a zároveň, sleduje-li operátor záznam z více kamer, může snadno přehlédnout akutní ohrožení. Zde je velmi vhodné nasadit systém automatizované analýzy. V tomto bodě se potkávají požadavky kamerového systému a dostupnost kamer a výpočetního systému, tedy zvýšení výkonu a cenová dostupnost hardware umožňují rozvíjet úvahy o automatizovaném zpracování do praxe.

Základem úspěšného nasazení automatizovaného nebo polo-automatizovaného systému je dostupnost kvalitního softwarového řešení, které bude schopno danou úlohu za rozumných podmínek provádět. Z mnoha možných úloh a scénářů, které se nabízejí, jmenujme například sledování a ochrana určitého hlídaného prostoru (například nepřetržité hlídání obchodních prostor), detekce objektů ohrožujících bezpečnost (například osamělé zavazadlo na letišti), sledování osob nebo automobilů na velkou vzdálenost, apod. Z této velké množiny úloh a scénářů, kterými je možné se zabývat, se v této práci zaměřím pouze na určitou skupinu – konkrétně půjde o úlohu digitální stabilizace obrazu, detekci a identifikaci ohrožení objektu hlídaného statickými kamerami a poloautomatické sledování objektů ve videu ve spojení s pohyblivými kamerovými systémy.

## 1.2 Cíle práce

Cílem této práce je ukázat postup první fáze vývoje funkčního vzoru zařízení pro sledování vzdálených objektů. Cílovým uživatelem v našem případě bude policie nebo armáda, která má za úkol strážít bezpečnost. Požadavkem policie je vlastnit systém, který by byl schopen, po označení podezřelé osoby ve videu, tuto autonomně sledovat prostřednictvím systému PTZ – tedy otočné kamery s proměnnou ohniskovou vzdáleností. Podobně i z řad armády existují požadavky na pasivní systém schopný sledovat vybraný cíl. Výsledkem by měl být návrh sestavy kamery, manipulátoru, výpočetního hardware a software tak, aby byly splněny všechny požadavky na takový systém kladené. Spolu s požadavky postupně vyplynou i omezení daná především úrovní hardware a dostupností algoritmů. Hardware bude založen na komerčně dostupných elementech a bude nutné navrhnout systém tak, aby byl i cenově přijatelný. Požadavky na algoritmus jsou pak již přesněji specifikovatelné na základě analýzy uživatelských scénářů.

Požadavky na systém lze specifikovat takto:

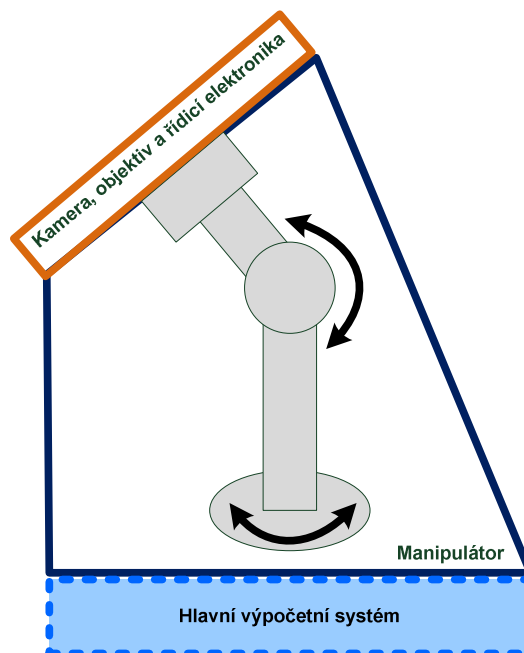
- Hardware
  - Kamera s vysokým rozlišením a velkým rozsahem ohniskových vzdáleností (velký = ideálně FullHD, tedy zhruba 2 Mpx)
  - Objektiv s velkou ohniskovou vzdáleností, nejlépe proměnnou a motoricky říditelnou
  - Manipulátor se schopností rotace  $n \times 360^\circ$  a schopností náklonu
  - Komunikace přes vhodné rozhraní
  - Prostředky pro určení polohy (GPS)
- Software
  - Integrované ovládání kamery
  - Možnost záznamu videa na disk

Takto definované požadavky byly analyzovány a dále upřesněny dle aktuálního stavu trhu. Důležité jsou také požadavky dané algoritmy, které v zařízení budou provozovány – otázkou zůstává, zda nejdříve vybrat algoritmus a jemu přizpůsobit hardware, pokud to vůbec bude možné, nebo použít postup opačný, tedy vybrat hardware a k němu vhodný algoritmus. Obě varianty přináší své výhody i nevýhody.

## 2 Návrh kamerového systému pro sledování objektů

### 2.1 Prvky technického vybavení kamerového systému

Na obrázku 3.1 je základní koncepční schéma navrhovaného kamerového systému, z něhož budeme při dalších úvahách vycházet. Systém se skládá z několika základních celků – kamerového systému (objektiv, kamera, řídicí elektronika), manipulátoru, a hlavního výpočetního systému. Limitujícím faktorem při výběru prvků systému bude především množství dat, které bude potřeba přenášet a zpracovávat (kamerami počínaje a hlavním výpočetním systémem konče).



Obrázek 2.1: Koncepční schéma navrhovaného kamerového systému.

Základem řešení hlavního výpočetního systému bude předpoklad, že systém bude složen z dostupných prvků, které v případě potřeby doplníme o zákaznický navržená zařízení. Východiskem pro stanovení datových toků uvnitř takového systému a jeho výpočetních nároků je určení základních logických celků, které spolu budou vzájemně komunikovat a shrnutí algoritmů, které bude systém provádět.

Celý systém je složen z následujících bloků:

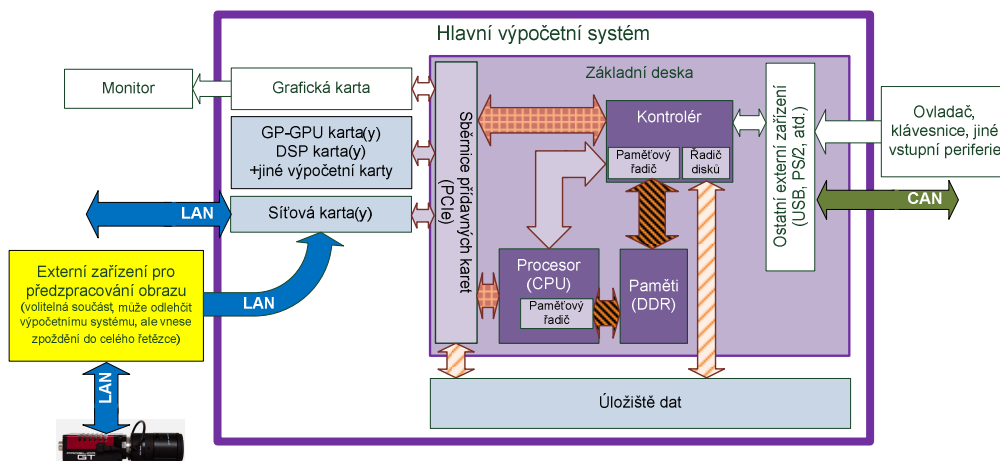
- kamera, objektiv a řídicí elektronika: komunikace přes USB a po ethernetu,
- hlavní výpočetní systém: výkonný výpočetní systém schopný zpracovat všechna potřebná data z kamery,
- manipulátor: umožní rotaci ve dvou osách, což je důležité především z hlediska přenosu dat v místech rotace.

Jednotlivé bloky systému budou propojeny s hlavním výpočetním systémem prostřednictvím rozhraní USB nebo sítí typu ethernet (systémy vyžadující vysokou datovou propustnost). Z hlediska kalkulace nároků na hardware je pro nás nejdůležitější kamera poskytující obrazová data. Datový tok z kamer pak přímo ovlivní návrh hlavního výpočetního systému. Požadavkem je, aby kamera poskytovala dostatečné rozlišení, vycházet budeme z toho, že využijeme dnes běžné kamery s rozlišením 1920×1080 obrazových bodů, které připojíme přes síťové rozhraní typu ethernet.

Rozebereme-li označený blok hlavního výpočetního systému podrobněji, můžeme definovat jednotlivá místa důležitá z hlediska výskytu úzkých hrdel systému a z hlediska výpočetního výkonu.

Obrázek 2.2 shrnuje jednotlivé významné celky figurující v hlavním výpočetním systému zpracování obrazu. Jednotlivé důležité celky, které hrají v hlavním výpočetním systému roli, jsou následující:

- externí zařízení pro předzpracování obrazu, síťová karta, GP-GPU karta, datová sběrnice přídatných karet, kontrolér, paměti, procesor, úložiště dat.



Obrázek 2.2: Blokové schéma významných funkčních prvků hlavního výpočetního systému.

### Externí zařízení pro předzpracování obrazu

Externím zařízením pro předzpracování obrazu rozumíme samostatné elektronické zařízení, které dokáže zpracovat vstupní videosignál a upravit ho do podoby vhodnější pro další zpracování. Jednou z variant, kterou je možné využít, je návrh vlastního externího zařízení pro úpravu obrazu. Nabízí se několik různých variant, jak takové zařízení navrhnout. Ze zkušeností víme, že je nutné použít procesor s dostatečným výkonem a propustností datových sběrnic. Velkou výhodou tohoto řešení je relativní jednoduchost nasazení (zařízení se vloží do datové cesty – vstup z kamery je zpracován a poslán dále, což zároveň způsobí

i nevýhodu v podobě zpoždění, což by mohlo neúměrně prodloužit čas od pořízení snímku do jeho úplné analýzy). Jako vhodnější alternativa se při prvotních úvahách také jeví dnes moderní akcelerace výpočtů grafickými kartami nebo jinými prostředky.

### **Síťová karta**

Síťová karta je jednou ze stěžejních částí. Jelikož kamery pořizující záznam budou připojeny přes síťové rozhraní, bude potřeba, aby byl síťový port dostatečně kvalitní, což vede k použití specializované síťové karty s vlastním procesorem, který odlehčí zátěž hlavního procesoru. Zároveň je potřeba, aby tato karta poskytovala gigabitové datové připojení, protože datový tok z jedné kamery je nutné přenášet minimálně po gigabitovém datovém spoji.

### **GP-GPU akcelerátor**

Jako alternativa k externímu zařízení s DSP se nabízí možnost využití GP-GPU (*General Purpose – Graphics Processing Unit*, obecné výpočty prováděné na grafických kartách). Toto řešení je velice vhodné právě pro úkoly zaměřené na zpracování obrazu. Grafická karta ve svém procesoru zahrnuje velké množství takzvaných *stream procesorů*. Tyto procesory je možné programovat několika způsoby. Nejpoužívanější jsou přístupy využívající specifikaci firmy nVidia – CUDA a obecnější řešení je pak založeno na knihovně OpenCL.

Velké množství malých procesorů v jádru čipu nabízí možnost masivní paralelizace úloh, což je v případě zpracování obrazu přesně ten přístup, který je vhodný. Algoritmy, které budou zasahovat do běhu aplikace, je možné vesměs relativně snadno paralelizovat a využít grafické karty. Nespornou výhodou zcela jistě je fakt, že takové řešení nevnaší do celého řetězce zpracování žádné další zpoždění.

### **Datová sběrnice přídatných karet**

Jedním z kritických míst propojení jednotlivých prvků hlavního systému a kamer je datová sběrnice. V současnosti se běžně využívá sběrnice PCI-Express (PCIe, chybně označováno jako sběrnice, protože jde v podstatě pouze o sériové spojení dvou bodů). Ve své původní verzi poskytovala PCIe propustnost 250 MB/s v jednom směru na jedné lince, což se ukázalo jako nedostatečné a novější verze již dovolují dosahovat rychlostí vyšších (verze 2.0 poskytuje 500 MB/s na jednu linku a verze 3.0 pak dosahuje na rychlost 1 GB/s na jedné lince).

### **Kontrolér**

Kontrolér má v moderních systémech za úkol propojit externí zařízení s procesorem. Běžně je v kontroléru integrován řadič pamětí, disků a dalších externích zařízení. Současným trendem je přesun z hlediska rychlosti kritických částí přímo do procesoru (především pak grafická karta a řadič paměti). Při bližším zkoumání trhu docházíme k závěru, že kontroléry již nemají integrovaný paměťový řadič a tento úkol se přesouvá směrem k procesoru. Kontrolér s paměťovým řadičem mohl zajistit různé paměťové přenosy bez zásahu procesoru, což v případě integrace řadiče do procesoru není zcela možné (ačkoliv je procesor koncipován tak, aby tyto režijní úkony byly časově co nejméně náročné). Úkolem kontroléru je zajistit přísun všech dat ze sběrnice směrem k paměťovému řadiči procesoru. Je tedy zřejmé, že nejkritičtější místem z tohoto hlediska bude zajištění dostatečné rychlosti kontroléru výběrem vhodné architektury.

### **Paměti**

Paměti jsou dalším důležitým prvkem ovlivňujícím celkový výkon hlavního výpočetního systému. Propustnost pamětí bude hrát velmi důležitou roli při návrhu a výběru hardware. V dnešní době jsou nejčastěji používány paměti typu DDR SDRAM (*Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory*). Tyto paměti poskytují maximální teoretickou propustnost až 17 GB/s (aktuálně jsou takto rychlé

paměti značně drahé a celý systém by prodražily a jejich rychlost je pouze teoretická, nehledě na to, že sběrnice procesoru není pro tento výkon stavěna).

## **Procesor**

Procesor je hlavním výpočetním centrem a bude mít na starost především výpočty podle algoritmů, ale i obsluhu operačního systému, komunikaci a spolupráci s uživatelem. Je zřejmé, že na procesor budou kladeny velké nároky. Moderní procesory jsou běžně vícejádrové, což je vlastnost, kterou budeme využívat. Prvotní úvahy nás vedou k závěru, že bude potřeba 1 jádro pro operační systém a 1 jádro pro zpracování sledování cíle (v kooperaci s dalšími výpočetními prostředky). Problémem, na který zřejmě narazíme, bude sdílení paměti. Sdílená paměť bude brzdit jednotlivé procesory při plnění úloh. V ideálním případě by řešení mělo obsahovat procesory dva, každý se svým paměťovým prostorem.

## **Úložiště dat**

Podobně, jako paměti, bude i úložiště limitujícím elementem. V případě potřeby ukládání příchozího videa z kamery, bude zapotřebí mít k dispozici dostatečně rychlé datové úložiště. Disky se běžně připojují přes rozhraní kontroléru, v současné době jde především o rozhraní typu SATA (*Serial AT Attachment*). Rozhraní SATA limituje rychlost připojení na teoretické 3 Gb/s, případně 6 Gb/s u novější varianty tohoto rozhraní.

## **Ostatní zařízení**

Mezi ostatní zařízení patří především periferie pro ovládání systému (například myš, dotykový panel, klávesnice, joystick), grafická karta pro výstup informace na monitor, který je dalším zařízením. Typicky nebudou tato zařízení mít přímý omezující vliv na datovou propustnost nebo vliv na výkon systému. Obsluha těchto zařízení bude probíhat v režii operačního systému a neměla by vyžadovat žádné dodatečné prvky.

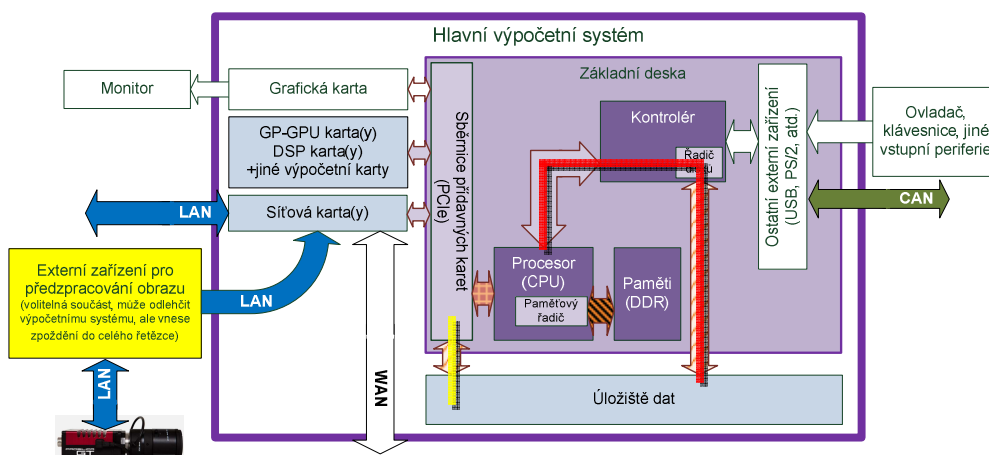
## **2.2 Přenos a uložení dat**

Prvky technického vybavení zasahující přímo do výpočetního řetězce jsme již zmínili, a nyní je potřeba stanovit požadavky na datové toky a uložení dat. Z hlediska výpočtu hardwarových požadavků na systém a výběru konkrétních hardwarových řešení pro přenos dat je pro nás podstatné především množství dat, které bude systém přenášet. Je potřeba vyčíslit maximální požadavky a z nich bude dále vycházet celý návrh systému. V našem případě půjde o maximální možné množství dat, které by mohlo systémem procházet. Na základě těchto údajů a výkonu stávající techniky bude možná nutné z požadavků stanovených v cílech práce slevovat tak, aby byl celý systém funkční.

### **2.2.1 Prvotní systémové optimalizace návrhu**

Prvotní optimalizace systému lze provést již na začátku návrhu. Prvním krokem optimalizace je výběr takového systému, který poskytne dostatečně vysoký výkon. Příkladem může být volba vhodného systému sběrnic. Například sběrnice PCIe je připojena přímo k jednotce procesoru, čímž zaniká cesta propojení sběrnice PCIe a kontroléru, což vede k maximálnímu zkrácení cesty dat ze síťové karty a dalších karet do procesoru. Také eliminace datové cesty z kontroléru do paměti je optimalizací návrhu, neboť se zkracuje datová cesta.





Obrázek 2.3: Blokové schéma významných funkčních prvků hlavního výpočetního systému. Byly eliminovány datové cesty, které se v moderních systémech nevyskytují. Červeně a žlutě jsou označeny kritické cesty uložení dat.

Obrázek 2.3 je aktualizací předchozího schématu s odstraněnými datovými cestami, které by mohly způsobit kritické zahlcení systému. Poslední cesta, která může být slabým místem systému, je spojení procesoru a datového úložiště v případě nutnosti ukládat data na disk (v obrázku označena červenou a žlutou čarou). Výhodnější se jeví použití přídavné karty a přímému spojení úložiště přes sběrnici PCIe, ale toto řešení není levné a je tedy třeba počítat i s horší variantou (uložení dat z paměti přes kontrolér).

## 2.2.2 Požadavky na datové toky

Požadavky na datové toky stanovené v této kapitole budou dimenzovány maximalisticky. Jde o toky, které musí projít systémem a které musí být schopen zvládnout hlavní výpočetní systém, pokud nebudou k dispozici podsystémy, které by snížily tento tok nebo pokud nebude provedena optimalizace vedoucí ke snížení datového toku (například snížení rozlišení):

- Kamera:
  - rozlišení: FullHD = ca. 2 Mpx (například 1920 × 1080 bodů),
  - rychlost snímání: 30 snímků/s.
- Komunikační systém (přenos dat od kamer a senzorů do cílového systému).
- Systém zpracování videa v reálném čase.

### Datový tok z kamer

Směrodatným ukazatelem nároků na datový tok, který poteče systémem, je určení množství dat z kamer. Kamera v systému je s rozlišením 1920 × 1080 bodů, se snímkovou rychlostí 30 snímků/s a bitovou hloubkou obvykle 8 bitů (ale je možné získat i přesnost 12 a výjimečně 16 bitů). Pro maximalistickou variantu budeme uvažovat hodnotu 16 bitů na jeden obrazový bod. Budeme-li vycházet z těchto předpokladů, pak lze postupně odvodit výsledné hodnoty datových toků, které bude nutné přenášet do systému, zpracovat a poté uložit do datového úložiště, zřejmě v komprimované podobě.

- Rozlišení kamery 1920 × 1080 = 2 073 600 bodů
  - Černobílý obraz: ~16 b/bod => množství dat = 2 073 600 × 16 = 33 177 600 b/snímek
- Rychlost snímání: 30 snímků/s
  - Černobílý obraz: množství dat/s = 30 × 33 177 600 = 995 328 000 b/s ≈ 125 MB/s

- Celkem:
  - 1× černobílý obraz: množství dat = 995 328 000 b/s  $\cong$  125 MB/s
- Požadovaná **datová propustnost** je tedy ca 125 MB/s

Takové množství dat může zahltit některé datové cesty systému. Obecně lze říct, že takový datový tok zatím nelze snadno přenést, uložit a zpracovat v reálném čase. GigE rozhraní kamer má schopnost teoreticky přenést až 1 Gb/s, ale pravděpodobně nenalezneme způsob, jak tato data přenést přes rotační mechanismy manipulátoru, zůstaneme tedy u omezení jeho pohybu.

Uvedené přenosové rychlosti nelze prakticky dosáhnout ani při přenosu dat přes gigabitové ethernetové rozhraní, které má teoretickou maximální hodnotu právě 125 MB/s. Tento problém interně řeší firmware a ovladače kamery snížením datového toku, nicméně množství dat, které bude potřeba zpracovat a uložit se tím nezmění – snímky stále budou stejně velké a obsadí stejné množství paměti. Tím pádem se hodnota požadované propustnosti stanovuje na 125 MB/s a množství dat bude odpovídat vypočteným hodnotám.

### Požadavky na uložení dat

Jedním z požadavků by mohla být i možnost na uložení záznamu v plné kvalitě na disk. Počítejme například s možností uložení videa v délce 5 minut. Podmínky pro zápis jsou tedy následující:

- Záznam v plné kvalitě a bez komprese v délce 5 minut, datový tok, který je potřeba uložit, je roven zhruba 38 GB dat => **kapacita disku** musí být alespoň **200 GB** (+ režie, rezerva).
- Rychlost záznamu je zhruba 125 MB/s => tedy rychlost zápisu na disk musí být vyšší než je tato hodnota.

### Možnosti optimalizace datového toku

Vzhledem k velkému množství dat bude vhodné provést některé prvotní optimalizace. Především půjde o snížení rozlišení, bude-li to akceptovatelné algoritmy, což výrazně sníží nároky na celý systém. Změnou rozlišení a omezením přesnosti černobílého snímání na 8 bitů se významně sníží datový tok z těchto kamer na 63 MB/s. Další možností je distribuce zpracování na několik výpočetních strojů, což se sebou nese velké riziko a problém se zpracováním dat (především pak problémy se synchronizací).

### 2.2.3 Přenos dat

Systém přenosu dat se bude skládat z ethernetové sítě (LAN) a sběrnice USB. Ethernetové rozhraní využijeme v celé jeho šíři – tedy v případě GigE to bude 1 Gb/s.

#### Ethernet

Ethernet je souhrnný název pro nejrozšířenější technologie pro budování počítačových sítí typu LAN (*Local Area Network*). Ethernet se stal standardem pro svoji jednoduchost a nízkou cenu, čímž a vytlačil z trhu ostatní technologie.

Ethernet realizuje v modelu ISO/OSI fyzickou a spojovou vrstvu, v modelu TCP/IP pak vrstvu síťového rozhraní. Původní protokol s přenosovou rychlostí 10 Mb/s byl vyvinut pro potřeby kancelářských aplikací a později byl v pozměněné podobě normalizován jako norma IEEE 802.3. Tato norma byla převzata jako ISO 8802-3.

Klasický ethernet používá sběrniceovou topologii – tedy sdílené médium, kde všichni slyší všechno, a v každém okamžiku může vysílat jen jeden. Jednotlivé stanice jsou na něm identifikovány svými hardwarovými adresami (MAC adresa). Paket s jinou než vlastní adresou je zahozen. Pro přístup ke sběrnici se používá metoda CSMA/CD (*Carrier Sense with Multiple Access and Collision Detection*).

Síťová karta, která potřebuje vysílat, naslouchá na sběrnici a pokud je v klidu, začne vysílat. Může se stát (v důsledku zpoždění signálu), že dvě stanice začnou vysílat přibližně ve stejný okamžik. Jejich signály vzájemně kolidují a vysílající stanice ji poznají podle toho, že během svého vysílání zároveň zjistí příchod cizího signálu. Stanice, která detekuje kolizi, vyše krátký signál, pak se všechny vysílající stanice odmlčí a později se pokusí o nové vysílání. Mezi opakovanými pokusy o vysílání stanice počká vždy náhodnou dobu. Interval, ze kterého se čekací doba náhodně vybírá, se během prvních deseti pokusů vždy zdvojnásobuje. Stanice tak při opakovaných neúspěších snižuje počet pokusů o vysílání a zvyšuje tak pravděpodobnost, že se o sdílené médium úspěšně podělí s ostatními. Pokud se během šestnácti pokusů nepodaří rámec odvysílat, stanice své snažení ukončí a ohlásí nadřazené vrstvě neúspěch.

Zvolené kamery využívají ethernet k přenosu obrazových dat, konkrétně poskytují připojení GigE, tedy gigabitový ethernet, a přenosová rychlost tedy bude 1 Gb/s v případě, že použijeme 8žilový metalický spoj. Problémem se stává přenos dat z rotačního manipulátoru do výpočetního systému, kdy budeme nuceni omezit pohyb manipulátoru vzhledem k nutnosti použití kabelového spojení.

Alternativou k metalickým či optickým spojům jsou bezdrátové spoje. V současné době jsou na vzestupu nové standardy, které nabízí vyšší přenosovou rychlost. Konkrétně se jedná o standardy 802.11ac (označovaný jako Wi-Fi 5G) a 802.11ad (označovaný jako WiGig).

### **WiGig (802.11ad)**

Standard 802.11ad [6][1] pracuje na frekvenci 60 GHz, což je volné nelicencované pásmo, které poskytuje prostor pro systémy, které potřebují přenést data vysokou rychlostí. WiGig počítá v 60GHz pásmu s kanály o šířce 7 až 9 GHz. Nevýhodou tohoto řešení je omezení spojení na krátkou vzdálenost. Toto omezení by však v našem případě nehrálo roli, protože dvojici vysílače i přijímače lze umístit v dostatečné blízkosti. V současné době však nejsou dostupná žádná řešení, která bychom mohli využít. Pokud se situace změní, pak by varianta využívající tento standard byla nejpříjemnější, neboť přenosová rychlost tohoto standardu se blíží hranici 7 Gb/s.

### **Wi-Fi 5G (802.11ac)**

Standard 802.11ac [7] je novou variantou Wi-Fi připojení. V současné době se již na trhu objevují zařízení, která by bylo možné využít. Standard 802.11ac se také někdy nazývá Wi-Fi páté generace (5G WiFi) a v současné době již existují čipy (především pak od společnosti Broadcom), které tento standard podporují. Síť 802.11ac komunikují na frekvenci 5 GHz. Šířka jednoho kanálu je rozšířena z běžných 20 MHz (někdy i 40 MHz) na nových 80 MHz s volitelnou podporou 160 MHz. Proklamované rychlosti bude dosaženo tak, že celá komunikace bude dělena na *streamy*, kterých bude podporováno až 8 s tím, že pro jedno zařízení se bude v počátku využívat maximálně tři streamů. Maximální datová šířka jednoho streamu je 433 Mb/s, tedy teoretická datová propustnost se při využití tří streamů blíží hodnotě 1,3 Gb/s, což by bylo dostačující v případě, že by nebyly velké režijní náklady na přenos. Použitelnost tohoto řešení ukáže zřejmě až praxe.

Nový standard bude podporovat různé technologie jako například podporu Multi-User MIMO (MU-MIMO) [8], která umožní komunikaci několika zařízení současně. V našem případě se jedná o point-to-point komunikaci, tedy podpora této možnosti nás nezajímá. Z tohoto pohledu je zajímavější technologie Beamforming, která bude zajišťovat co nejlepší formování signálu tak, aby se i přes překážky a odrazy dostal signál v nejlepší kvalitě na místo určení. Několik antén bude schopno načasovat fáze signálu tak, aby se tento k cíli dostal co nejsilnější byť třeba poskládaný z odrazů. Tato technologická možnost by měla zajistit spolehlivou komunikaci i v místě s nepříznivými podmínkami.

Samozřejmostí je zpětná kompatibilita se staršími verzemi standardu 802.11, které pro naše účely však není příliš zajímavá. Spotřeba čipů bude pravděpodobně vyšší, než u předchozích verzí, to však v rámci

celého elektronického systému nebude hodnota nikterak výrazná v porovnání například se základním výpočetním systémem. Zvýšená spotřeba je zapříčiněna především použitím komplikovanějšího způsobu modulace 256QAM [9]. Vzhledem k prozatímni nedostupnosti těchto bezdrátových technologií, budeme zatím předpokládat využití metalických spojů.

## 2.2.4 Kritická místa přenosu dat

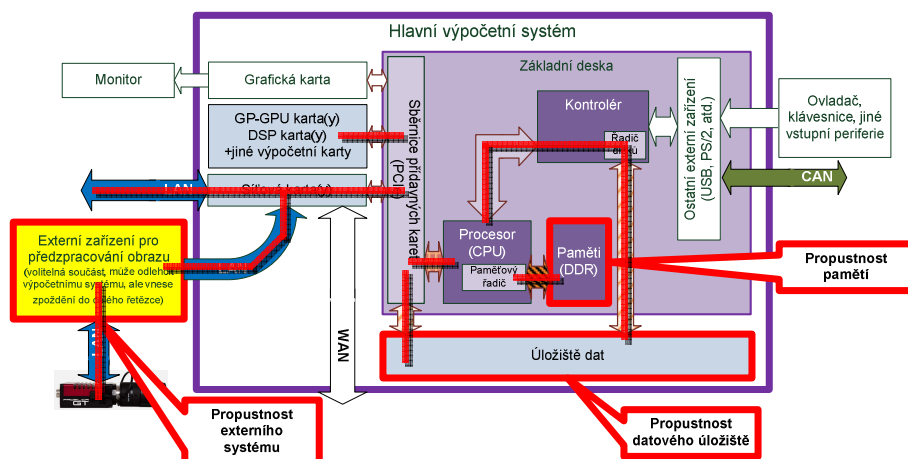
Z hlediska návrhu jsou kritická 3 místa – uzly rotace a vstup hlavního výpočetního systému. Uzly rotace jsou místa rotace manipulátoru, což z hlediska přenosu dat znamená vypořádání se s úkolem transferu datového signálu přes tyto uzly. Vstup do hlavního výpočetního systému bude zajištěn síťovou kartou.

Přenos dat přes uzly rychlostí 125 MB/s znamená nalezení hardware schopného přenosu dat touto rychlostí. Pro LAN síť při rychlosti 1 Gb/s je potřeba 8 datových vodičů a schopnost pracovat s frekvencí přenosu 250 MHz, pro USB pak 2 datové vodiče. Metalický rotační disk schopný přenést data touto rychlostí, resp. manipulátor, který by tuto vlastnost podporoval, není v podstatě možné nalézt, proto jediné řešení, které se naskytuje, je buď omezení pohybu a použití kabelu nebo bezdrátové spojení.

## 2.2.5 Datová propustnost prvků hlavního výpočetního systému

Požadavky na datový tok již známe, stanovili jsme i kritická místa a nyní je potřeba zjistit jaké možnosti řešení nabízí současný hardware z hlediska datové propustnosti. Hlavní výpočetní systém i speciální hardware využívá k ukládání dat interní a externí paměť. Je tedy zapotřebí zhruba vypočítat dostupnou datovou propustnost podle teoretických parametrů použitého druhu hardware. V úvahu budeme brát centralizovaný systém, z něhož budeme vycházet. Dále bude nastíněna možnost jiných řešení – decentralizovaných – a bude shrnuto, jak se mohou jednotlivá řešení podílet na finálním řešení. Zcela jistě půjde o kompromis ve všech směrech.

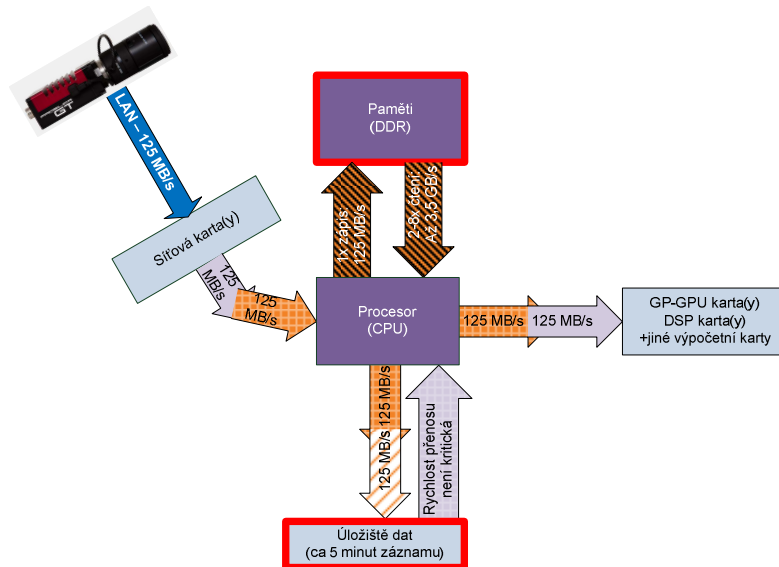
Obrázek 3.6 ukazuje kritická místa z hlediska propustnosti dat (označeno červenou čarou a červenými rámečky). Jde především o externí systém zpracování obrazu, síťové karty, datovou sběrnici, procesor, kontrolér, paměti a úložiště dat.



Obrázek 2.4: Blokové schéma funkčních prvků hlavního výpočetního systému s vyznačením kritických míst systému a kritických zařízení z hlediska propustnosti dat (červené čáry a orámování prvků).

Hardware potřebuje číst vstupní data a ukládat modifikovaná data. Cesta dat z kamer je následující. Kamera sejme snímek a data zašle přes síťové rozhraní rychlostí 125 MB/s. Data z kamery dorazí do síťové karty, která musí být schopna datový tok přijmout. Kromě toho musí být schopna přijmout další datový tok určený ke komunikaci s manipulátorem a případně i s dalšími prvky. Tento datový tok musí projít ze síťové

karty přes sběrnici do procesoru, kde jsou zpracována ovladačem kamery a uložena do paměti (první uložení dat, snímky musí být dekomprimovány a uloženy v plné velikosti). Dále jsou data čtena z paměti a zpracovávána. V závislosti na konkrétním algoritmu mohou být všechna data každého snímku čtena i několikrát. K dalším zápisům celého snímku by již však nemělo docházet. V případě použití GP-GPU řešení bude každý celý snímek zaslán do grafické karty (opět čtení z paměti). Poslední cesta snímků bude směřovat do úložiště dat. Snímky budou ukládány v nekomprimované formě v délce několika minut.



Obrázek 2.5: Schéma datových cest od kamer do hlavního výpočetního systému.

S pamětí komunikuje přímo paměťový řadič v procesoru (u speciálního hardware může jít například o výkonný FPGA čip). Dále je potřeba data zpracovávat na straně procesoru (běžné CPU – *Central Processing Unit* nebo DSP – *Digital Signal Processor*). Procesor ukládá nebo načítá data, zpracovává je a dále zajišťuje uložení výsledku na permanentní paměti (pevný disk, SSD disk, nebo paměťový disk). Objevují se zde tedy dva celky pracující s pamětí – paměťový kontrolér a procesor, a s datovým úložištěm (zřejmě diskem) – diskový řadič.

### Propustnost paměti

V současné době jsou běžně využívány paměti typu DDR SDRAM (*Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory*) především ve verzi 2 a 3. Dále tedy budeme předpokládat, že navrhovaný hardware bude některý z těchto typů pamětí využívat.

Rozhraní DDR pracuje interně na frekvenci od 100 MHz do 266 MHz, přičemž rychlost komunikační sběrnice se pohybuje od 100 MHz do hodnot přes 1 GHz. Vysokých rychlostí lze dosáhnout u aktivně chlazených systémů. U pasivně chlazených zařízení a u DSP bývají rychlosti nižší. U specializovaného hardware využívajícího FPGA a DSP se předpokládá využití DDR3 a frekvence sběrnice 333 MHz. Kromě přenosu užitečné informace se na komunikaci podílí i režijní informace, která snižuje propustnost na nižší hodnoty (u pamětí pracujících na frekvenci 333 MHz lze efektivně uvažovat o frekvenci 222 MHz). Šířka datové sběrnice bývá 64 bitů (v závislosti na konkrétním systému, u mnoha DSP je to pouze 32 bitů).

Nároky kladené na paměti budou vcelku vysoké. V maximalistické variantě, kdy se s každým snímkem mění i klíčový snímek, což by připadalo v úvahu pro úlohu sledování objektů, dochází minimálně ke dvěma zápisům celého snímku (jeden zápis v případě hlavního systému) a dvěma čtením celého snímku (tedy zhruba 6,2 MB dat na barevný snímek, což je zhruba 186 MB/s a počítáme-li 4 přístupy k celému snímku, pak jde ca o 744 MB/s, u hlavního systému počítáme až s 8 čteními snímků, tedy s tokem až 3,5 GB/s), pak

budeme potřebovat propustnost minimálně 744 MB/s. Paměti DDR pracující na frekvenci 333 MHz mají po započítání režie reálnou datovou propustnost 222 MHz, tedy při šířce slova 32 bitů je to 888 MB/s, což je kapacita na hranici vhodné pro práci kamerou.

Hlavní výpočetní systém přenesení 125 MB/s a při odhadovaném počtu šesti přístupů ke každému snímku se bude jednat o ca 1,5 GB/s. Tedy teoreticky potřebujeme paměť pracující na frekvenci minimálně 100 MHz pracující s šířkou slova 64 bitů, což teoreticky splňuje každá paměť typu DDR3 zapojená ve dvoukanálovém režimu, která se v dnešních systémech používá. Je však nutné uvědomit si, že kromě čistých zápisů a čtení snímků bude nutné připočítat i režii operačního systému a dalších podsystémů. Je tedy vhodné volit dostatečně dimenzované paměti. Moduly DDR3 oficiálně nepracují na interní frekvenci vyšší než 200 MHz. Teoretická přenosová kapacita současných modulů (například DDR3-1600) je 12,8 GB/s, což je hodnota dostatečná (experimenty ukáží, zda tomu tak bude i v praxi, je nutné myslet na to, že zde není započítána režie, která jistě vznikne).

### **Propustnost sběrnice procesoru**

Propustnost sběrnice procesoru se může ukázat jako další potenciálně slabé místo. Nebylo zatím potřeba řešit tento problém v případě hlavního systému, který by měl být dostatečně výkonný. Nejmodernější procesory přímo integrují paměťový řadič a vnitřní sběrnice procesorů je schopna přenášet data rychlostí v řádech Gb/s. Přenosové rychlosti interního systému se udávají v jednotkách přenosů za sekundu (*transfer per second*), přičemž přenosem se rozumí čtení nebo zápis bitu.

### **Propustnost sběrnic hlavního výpočetního systému**

Jednotliví výrobci volí různé přístupy vnitřního propojení jednotlivých elementů v procesoru a jejich napojení na vnější sběrnice. Například firma Intel používá technologii *QuickPath Interconnect* (QPI), která nahrazuje starší variantu *Front-Side Bus* (FSB) pro propojení vnitřních částí procesoru a procesoru na vstupně/výstupní uzel.

QPI se používá především na propojení procesorů (například u multiprocesorových systémů, nebo na propojení vstupně/výstupního kontroléru a procesoru). Každá jednotlivá QPI se skládá ze dvou 20linkových spojů (jeden pro každý směr přenosu). Tyto 20linkové spoje jsou rozděleny do čtveřic po 5 linkách. Základní přenosovou jednotkou je 20 bitů, ale tato hodnota je reálně 16 bitů. Teoreticky umožňuje tento typ spojení přenášet data rychlostí dle rychlosti procesoru až  $f \times 2$  (2 bity/Hz) GT/s, tedy například procesor s frekvencí  $f = 3,2$  GHz dokáže provést 6,4 GT/s (tj. přenést 6,4 Gb/s na jeden spoj) s tím, že počet dat přenesených paralelně odpovídá zhruba 16 bitům (2 bajtům), pak je reálná hrubá přenosová šířka pásma u tohoto procesoru rovna 12,8 GB/s. Kromě užitečných dat je nutné počítat i s režijními náklady na jejich přenos. U technologie QPI se udává režie na úrovni ca 11%, takže skutečná datová propustnost se pohybuje u hodnoty 11,4 GB/s.

Podstatný pro další úvahy je i výkon sběrnice PCIe (*PCI Express*), která je chybně označována jako sběrnice, protože jde v podstatě pouze o sériové spojení dvou bodů stejně jako v případě QPI. Ve své původní verzi poskytovala PCIe propustnost 250 MB/s v jednom směru na jedné lince, což se ukázalo jako nedostatečné a novější verze již dovolují dosahovat rychlostí vyšších (verze 2.0 poskytuje 500 MB/s na jednu linku, verze 3.0 pak dosahuje na rychlost 1 GB/s na jedné lince a v plánu je i verze 4.0 s rychlostí 2 GB/s). Přes tuto sběrnici se připojují například grafické karty, tedy v našem případě zařízení pro GP-GPU výpočty, případně další periferie (v úvahu přichází síťová karta a datové úložiště).

Při připojení síťové karty a datového úložiště velice rychle zvýšíme celkový objem dat, který přes sběrnici PCIe poteče. Podíváme-li se na obrázek 3.9 zapojení čipsetu Intel X79, uvidíme, že sběrnice PCIe je zapojeno přímo k procesoru v různých konfiguracích. Pro grafickou kartu bude zapotřebí 1x16 linek, pro

síťovou kartu pravděpodobně 1x8 linek (pokud karta bude podporovat verzi PCIe 3.0, pak bude stačit využití 4 linek) a pro datové úložiště 1x4 linek. Základní deska by tedy měla poskytovat všechny tyto konfigurace. Celkem bude aktivně využito 28 linek na plný výkon (minimální varianta, například v případě nasazení dvou GP-GPU karet bude využito dalších 16 linek), počítáme-li s běžnou dostupností a využitelností verze 2.0 bude datový tok činit  $0,5 \times 28 = 14$  GB/s! Vrátime-li se k úvahám o vnitřní sběrnici procesoru, zjistíme, že požadovaná propustnost není k dispozici, neboť vnitřně systémy umožní efektivně přenášet data rychlostí 11,4 GB/s. Do uvedeného datového toku stále není započítán žádný přenos v paměti a procesor doposud neprovedl žádné užitečné výpočty.

Je zřejmé, že zde je kritické místo celého řešení. Na druhou stranu je nutné také vzít do úvahy fakt, že všechny periferie nebudou využívat celou datovou šířku a hodnota 14 GB/s je pouze teoretická, nicméně je potřeba počítat s nejhorším případem. Předchozí úvahy jasně naznačují, že v nejhorším případě dojde k zahlcení systému.

### **Propustnost datového úložiště**

Pro uložení dat se předpokládá víceúrovňový systém zpracování. Disky lze běžně připojit přes rozhraní typu SATA (*Serial AT Attachment*). Rozhraní SATA limituje rychlost připojení na teoretické 3 Gb/s, případně 6 Gb/s u novější varianty tohoto rozhraní. Na výběr máme několik typů úložišť:

- klasický pevný disk s rotujícími plotnami:
  - připojeno přes rozhraní SATA,
  - + ověřené řešení, stabilní úložiště, vysoká kapacita, vysoká životnost,
  - – pomalé, vyšší spotřeba,
- SSD (*Solid State Drive*) založený na prepisovatelných nevolatilních flash pamětech:
  - připojeno přes rozhraní SATA nebo jako doplňková karta pro rozhraní PCIe,
  - + vysoká rychlost, nízká spotřeba,
  - - menší kapacita, nižší životnost,
- RAM-drive založený na volatilních pamětech RAM:
  - připojovaný většinou přímo na rozhraní PCIe,
  - + extrémně vysoká rychlost,
  - - ztráta informace při ztrátě napájení, nízká kapacita, málo dostupné řešení.

Z možností, které jsou k dispozici, bude vhodné vybrat víceúrovňové řešení, které spojí výhody všech typů úložišť. Pro rychlé a krátkodobé uložení minimálního množství dat v podobě několika málo minut záznamu bude nejvhodnějším řešením nasazení velké kapacity paměti, kterou využijeme pro krátkodobé uložení dat. Data budou postupně zpracována, informace bude redukována na nutná data a ta budou uložena na pevný disk s vyšší kapacitou (vhodné řešení je disk SSD s kapacitou řádově 200-300 GB). Pro dlouhodobější archivaci bude využit běžný pevný disk s velkou kapacitou, který bude uchovávat komprimovaná data.

Tento víceúrovňový přístup je z hlediska propustnosti dat vhodným kompromisem, neboť paměť poskytuje dostatečnou propustnost pro uložení dat ve vysoké kvalitě, SSD umožní přechodně uložit větší množství již zpracovaných dat a na běžný pevný disk se pak vše archivuje. Režijní nároky na tento způsob zpracování nejsou příliš velké, nejvíce výpočetního času zabere archivace (tedy komprimace) dat.

### **Ostatní datové přenosy**

Z hlediska omezení přenosové rychlosti a šířky pásma pro zpracování dat z celého systému nejsou ostatní zařízení, které vyžadují přenos dat, významná. Ostatní periferie nebo součásti systému generují natolik zanedbatelný datový tok v porovnání s daty z kamer, že není třeba je explicitně řešit.

## 2.2.6 Shrnutí

Rozdělíme-li aplikaci na vlákna a ta budou distribuována na jádra procesoru, snížíme enormně požadavky na celkový hrubý výkon procesoru aplikace, která se v budoucnu stane součástí funkčního vzoru. Abychom zajistili plynulý chod sledování více objektů, GUI, chod operačního systému a základních úprav obrazu, bude potřeba mít vícejádrový procesor. Takové procesory jsou dnes vcelku běžně dostupné, například Intel Core i7 má 4 jádra a je schopen zpracovávat paralelně až 8 vláken, přičemž jednotlivá jádra pracují na frekvenci až 3,2 GHz (rok 2010). Zbývajícím problémem tedy zůstane algoritmus pro sledování cílů, který je příliš výpočetně náročný, případně i propustnost sběrnic, která by mohla být problematickým místem.

## 3 Zhotovení kamerového systému

V základní verzi umožní tento systém automatické sledování objektů a přiblížení objektu dle vlastností objektivu. Ve finální verzi by měl systém usnadnit operátorovi sledování označeného objektu tak, že se celý systém autonomně pokusí objekt sledovat a poskytovat tak prostor a čas pro další práci operátora.

V předchozí kapitole jsme se zabývali požadavky na technické vybavení systému pro zpracování dat z kamery za účelem sledování objektů. Nyní návrh takového systému provedeme právě po stránce technického vybavení s tím, že systém zkompletujeme z prvků dostupných na trhu dle požadavků cílů práce. Zaměříme se na výběr kamery, objektivu, manipulátoru, mechanickou konstrukci a na výběr vhodných komponent výpočetního systému.

### 3.1 Kamera

Výběr digitální kamery a objektivu je svázán s požadavky, které jsou na systém kladeny. Důležitá je především specifikace využití finálního produktu. Od toho se pak odvíjí výběr konkrétního zařízení (jiné je zařízení pro sledování místnosti ze vzdálenosti od 2 do 10 metrů a jiná situace je při sledování objektů ve vzdálenosti několika stovek metrů). To platí jak pro kameru, tak i pro objektiv. Jako nejvýznamnější byly určeny následující skupiny specifických parametrů rozhodujících o výběru kamery:

- rozlišovací schopnost, způsob/možnost řízení záznamu, způsob připojení, možnost přímého řízení objektivu, klimatické a provozní podmínky.

Vhodnými kandidáty budou kamery s rozlišením FullHD, tedy 1920×1080 obrazových bodů. Vybrány byly kamery od firmy *Allied Vision Technologies*, které téměř po všech stránkách splňují naše požadavky. Parametry zvolené kamery GX 1660 jsou:

- Rozhraní: IEEE 802.3 1000baseT – běžné ethernetové připojení, kamera komunikuje pomocí standardu GigE, což je z hlediska dalšího zpracování a přenosu dat to, co jsme očekávali.
- Rozlišení: 1920 × 1080 – dostatečný počet obrazových sloupců (mírně nižší je rozlišení pro typ GX 1660 – kde je to 1600 × 1200 bodů).
- Senzor: progresivní CCD – progresivní snímání omezuje vznik artefaktů při prokládaném způsobu snímání obrazu.
- Velikost senzoru: 2/3" – tato velikost nám umožní zvolit objektiv s větší ohniskovou vzdáleností, neboť může být celkově menší než například u čipů o velikosti 1".
- Velikost pixelu: 5.5 μm.
- Otvor pro připojení objektivu: typ C.



- Obnovovací frekvence: až 63 snímků/s – požadovaná frekvence byla ca 30 snímků/s, tedy tuto hodnotu kamera splňuje, omezení bude zřejmě především na straně přenosu dat.
- A/D převodník: 14 bitů – minimální požadavek je 12bitový převodník, což tato kamera splňuje.

Dalšími podmínkami z hlediska použití kamery je programátorské rozhraní. Výrobce kamery nabízí ovladače pro OS Microsoft Windows i Linux a kompletní SDK ke kameře, což je velmi přínosné z hlediska vývoje software. Kromě toho umí tato kamera i přímo ovládat motory objektivů s proměnnou ohniskovou vzdáleností. Tím tato kamera splňuje téměř maximálně všechny požadavky, které byly stanoveny.

## 3.2 Objektiv

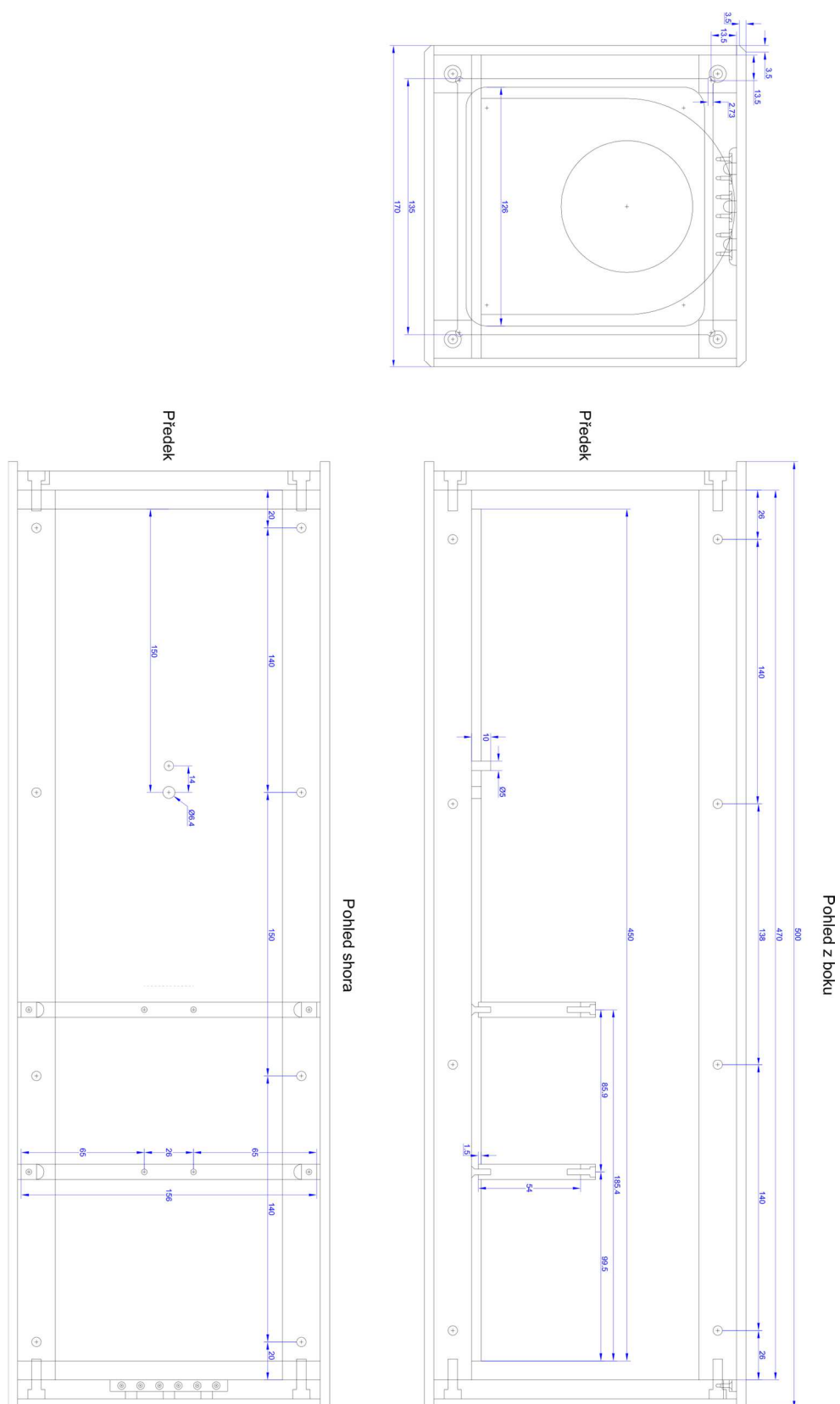
Na objektiv budou z hlediska provozního kladeny podobné požadavky jako na kameru. Objektiv by měl umožňovat změnu ohniskové vzdálenosti (tedy zoom) a měnit tak zorné pole v rozmezí ca od 3° do 40°. Dalším požadavkem, který plyne především z výběru kamery, je schopnost pokrytí plochy širokoúhlého senzoru o rozměru 2/3". Jelikož je naším požadavkem relativně extrémní rozsah ohniskových vzdáleností, nezbyvá mnoho objektivů, které by splnily všechny podmínky. Kromě výše uvedených k nim ještě musíme přidat možnost motorického řízení zoomu, ostření a clony (clonu lze řídit i elektronicky). Všechny požadavky lze shrnout takto:

- rozsah zorného pole ca od 3° do 40° – změnu této hodnoty lze akceptovat,
- připojení typu C (C-mount) – nelze zaměnit za jiný, pouze v případě existence redukce nebo změny výběru kamery,
- motoricky říditelný zoom a ostření,
- říditelná clona (lze brát v úvahu i automatické elektronické řízení),
- schopnost pokrýt celý senzor o rozměrech 2/3".

Analýza trhu nám poskytne, při zvolených parametrech, pouze malé množství objektivů s tím, že mnohé z nich nesplní pouze některou z podmínek, ale i tak se diskvalifikují z výběru především proto, že některé podmínky nelze zanedbat (například závit a jeho rozměr je jasně stanoven). Vybrán byl objektiv Fujinon C22x17B-Y41, jehož parametry lze shrnout takto:

- ohnisková vzdálenost 17-374 mm, což při rozměru senzoru 2/3" činí rozsah zorného pole od 1°21' do 29°,
- motoricky říditelný zoom a ostření (typ „motor drive“),
- zpětná vazba s informací o poloze zoomu,
- automatická clona řízená elektronicky video signálem,
- clonové číslo od F2.3 do ca F3000 (ekvivalent T3000),
- C-mount.

Pro tento model jsou v nabídce i extendery, které případně umožní zvýšit ohniskovou vzdálenost na úkor světelnosti objektivu, ale ty zřejmě nebudou pro naše účely potřeba. Navíc objektiv poskytuje i zpětnou vazbu ve formě informace o pozici zoomu a ostření.



Obrázek 3.1: Konstrukce kamerové hlavy.

### 3.3 Mechanická konstrukce jedno-kamerového systému

Nosná platforma byla navržena s ohledem na jednoduchost konstrukce a výrobní možnosti FIT VUT v Brně, tedy velice jednoduše. Kritéria návrhu byla následující:

- možnost montáže manipulátoru a kamerová hlava,
- nosnost minimálně 30 kg (hmotnost manipulátor + kamerová hlava),
- výška maximálně 90 cm (spolu s manipulátorem by měla být sestava nižší než 150 cm),
- šířka podstavy maximálně 80 cm (je nutné pronášet platformu dveřmi a běžný rozměr dveří je zhruba 80 cm),
- rozměr skříně pro elektroniku minimálně 45 × 30 × 45 cm (skříň pro výpočetní systém rozměru ATX – základní deska má rozměr 30,5 x 24,4 cm, prostor na disky a zdroj, tedy půdorysně alespoň 45 × 45 cm s výškou alespoň 30 cm),
- větrací otvory a otvory pro kabely (minimálně 3 ks ethernetového kabelu CAT 5, 2 ks USB kabelu, 1 ks video kabelu HDMI nebo DVI, napájecí kabel – nutný je otvor průměru alespoň 2 cm),
- aretační nožky.

První verze nosné platformy bude vyrobena v následujícím roce vývoje funkčního vzoru a návrh možná dozná dalších změn.

### 3.4 Elektronický systém kamerového systému

Elektronický systém kamerového systému se skládá z kontroléru kamery, ze zařízení pro čtení zpětnovazební informace zoomu a ostření, zařízení s GPS a z hlavního výpočetního systému. Další hardware, který se bude podílet na činnosti, tvoří vstupně-výstupní periferie v podobě klávesnice, dotekového ovládacího zařízení spojeného s monitorem pro dotekové ovládání systému a joystick nebo joypad.

#### 3.4.1 Elektronika kamerové hlavy

Elektronika kamerové hlavy je zastoupena především kamerou samotnou, která snímá video a řídí nastavení ohniskové vzdálenosti a ostření. Čtení zpětnovazební informace o poloze zoomu a ostření je potřeba vyřešit dodatečným zařízením, které je potřeba vyvinout.

Pro účely měření stavu potenciometrů objektivu byl použit vývojový kit STM32F4DISCOVERY s mikrokontrolérem STM32F407 MCU. Tento kit umožňuje relativně snadné zprovoznění úloh, jako je například porovnání napětí na výstupu stavového potenciometru vůči dodanému referenčnímu napětí, což je přesně úkol, který bylo potřeba vyřešit. Na desce kitu je osazen čip STM32F407VGT6, který umožňuje ladit aplikace nástrojem ST-LINK/V2, také obsahuje dva ST MEMS, digitální akcelerometr, digitální mikrofon, jeden DAC převodník, LED, tlačítka a USB OTG mikro-AB konektor pro připojení k externímu zařízení. Mezi hlavní vlastnosti procesoru STM32F407VGT6 patří:

- 32bitový mikrokontrolér s jádrem ARM Cortex-M4F, 1 MB paměti flash, 192 kB RAM,
- ST-LINK/V2 s možností nastavení pro účely ladění,
- Napájení přes USB sběrnici nebo z externího zdroje 5 V,
- Pohybový senzor, 3osý digitální akcelerometr,
- Zvukový snímač a všesměrový mikrofon,
- DAC převodník se zesilovačem třídy D.

Způsob připojení objektivu a kitu není příliš komplikovaný. Vývody objektivu poskytují vše potřebné pro měření stavu potenciometrů – vstup referenčního napětí  $V_{ref}$ , které nastavíme dle možností desky STM32F4, výstup poskytující napětí odpovídající poloze ostření a napětí odpovídající poloze přiblížení objektivu (zoomu). Programově zjistíme číselnou hodnotu v rozsahu 16 bitů úměrnou velikosti napětí.

### 3.4.2 Firmware elektroniky kamerové hlavy

Nedílnou součástí elektroniky pro zjištění stavu zoomu a ostření je i firmware pro elektroniku, konkrétně jde o software pro zjištění stavu zoomu a ostření.

#### FreeRTOS

Základem veškerého firmware je operační systém FreeRTOS [15]. FreeRTOS je otevřený projekt volně dostupného operačního systému reálného času, který je oficiálně dostupný pro mnoho architektur procesorů. Tento operační systém se stává stále populárnější a na trhu se řadí mezi robustní operační systémy reálného času (RTOS – *Real Time Operating System*) pro embedded aplikace. FreeRTOS je v podobě open-source volně ke stažení a jeho komerční variantou je OpenRTOS a SafeRTOS, který je navíc certifikován pro bezpečnostní vestavěné aplikace a splňuje normu SIL3 dle IEC61508. Výhodou volby FreeRTOS je fakt, že ho lze, na rozdíl od některých jiných systémů, použít i v komerčních aplikacích bez nutnosti zveřejnění celého zdrojového kódu.

Rostoucí popularita tohoto systému podporuje jeho další vývoj a v současné době lze získat například kód pro TCP/IP, knihovny, souborový systém či plnohodnotnou podporu USB rozhraní. Většina oficiálních portů (variant) systému obsahuje předem nakonfigurované ukázkové aplikace, které demonstrují vlastnosti jádra, zjednodušují vývoj a umožňují rychlý návrh firmware pro konkrétní aplikaci. FreeRTOS je k dispozici již mnoho let a je dostatečně flexibilní, aby mohl být použit na libovolném typu hardwaru, nicméně není to jediný dostupný systém, mezi jeho konkurenty patří například ChibiOS nebo BeRTOS (a další). Výhodou FreeRTOS je především velké rozšíření, jednoduché a rychlé použití a dostupnost všech funkcí. Klíčovými funkcemi jsou například preventivní, kooperativní a hybridní plánovač úloh, pro zajištění synchronizace a komunikace pak systém podpory výjimek, front, semaforů a mutexů (těch lze také využít pro řešení inverzí priorit).

### 3.4.3 Hlavní výpočetní systém

Hlavní výpočetní systém musí splňovat kritéria stanovená teoretickými výpočty v předchozích kapitolách. Jako hlavní výpočetní systém lze vybírat mezi již hotovými zařízeními nebo sestavit vlastní z jednotlivých komponent. Rozmanitost řešených úkolů je velká a výpočetně náročná, je proto nutné, aby hlavní systém měl dostatečný výkon.

Hlavní výpočetní systém bude uložen v prostoru podstavce manipulátoru. Volný prostor uvnitř krytu podstavce je dostatečný, není tedy nutné se příliš prostorově omezovat. K sestavení výpočetního systému je potřeba vybrat základní komponenty. Pro náš kamerový systém potřebujeme zajistit buď hotový výpočetní systém, nebo ho složit z následujících komponent: základní desky, procesoru, chladiče, paměti, grafické nebo jiné karty pro výpočty, zdroje, síťové karty a pevných disků.

Z hlediska návrhu a celkového řešení je nejjednodušší variantou centralizované řešení (*all-in-one*), kdy jeden systém bude obsluhovat ukládání a zpracování veškerých dat. Výhodou je především to, že vše bude obslouženo v rámci jednoho systému, náklady budou nižší, z hlediska programátorského bude vše snazší a celé řešení bude elegantnější (jedno zařízení na všechno).

Druhou logickou variantou je decentralizované řešení, kdy je systém rozdělen do několika nezávisle pracujících podsystémů, které spolu komunikují a předávají si výsledky. Již při prvotním zamyšlení nad tímto řešením je zřejmé, že decentralizovaný přístup vyřeší některé problémy, ale mnoho nových také přinese. Zaměříme se tedy především na centralizovaný systém. V následujících kapitolách je shrnuto, jaké možnosti nabízí trh v oblasti hardware pro zpracování obrazu. Požadavky na systém jsou jasně dány, pokusíme se tedy na základě těchto informací zvolit vhodné řešení.

Z hlediska zaměření úlohy, úplnosti řešení a splnění požadavků, které na systém máme, není lehké nalézt kompletní systém vhodný pro tuto úlohu. Přímo zaměřena na tyto úlohy je například platforma Matrox Supersight e2, která nabízí základnu se dvěma procesory Intel Xeon a velké množství možných rozšíření v podobě zásuvných karet (*System Host Board* - SHB), kdy každá z nich je schopna individuálně zpracovávat vstupní video. Jinou možností je využití podobného systému SHB + SHB Backplane, který vytvoříme ve vlastní režii. Nevýhodou tohoto řešení v porovnání s produktem firmy Matrox je absence software, který je dodáván k platformě spolu s kompletní knihovnou, která poskytuje komplexní podporu celého systému.

Další možnost se nabízí v podobě využití pracovních stanic poskytovaných různými společnostmi s běžným operačním systémem (například Hewlett-Packard, Dell nebo ASUS). Mezi možná řešení lze zařadit například pracovní stanice HP Z800 od společnosti Hewlett-Packard, které sice v porovnání s Matrox Supersight e2 nenabízí takové možnosti, ale poskytuje dostatek výkonu a možností rozšíření. Za rozumnou cenu lze získat systém se dvěma 6jádrovými procesory Intel Xeon X5660, 24 GB paměti a 300 GB pevný disk. Rozšíření pak zajišťují 2 sloty PCIe x16, 2 sloty PCIe x8 a další sloty. Zvýšení výkonu lze dále docílit zakoupením přídatných karet a odpovídající optimalizací algoritmů pro daný hardware. Podobným řešením je pracovní stanice firmy Dell Precision T7500 Tower Workstation, která nabízí parametry velmi podobné řešení od HP.

Alternativou k uvedeným produktům, je takzvaný *barebone* systém (systém bez některých funkčních komponent, které je nutno doplnit) velmi výkonného stroje, který by splňoval zadané požadavky. Příkladem může být pracovní stanice firmy Supermicro, konkrétně základ SuperServer 7046GT-TRF. Sestava obsahuje skříň, základní desku a zdroj, vše dimenzované pro vysoce náročné výpočty. K tomuto základu je pak nutné dokoupit další komponenty – procesor, paměti a pevné disky. Firma Supermicro také nabízí velkou škálu jiných barebone systémů, které lze velmi dobře uživatelsky konfigurovat, šlo by tedy s výhodou využít i jinou variantu.

#### 3.4.4 Vlastní návrh hlavního výpočetního systému

Vzhledem k vysoké ceně hotových řešení je další možnou variantou navrhnout vlastní systém. Tato varianta návrhu však skrývá některá úskalí. Prvním je fakt, že základní desky vhodné pro tento typ zařízení, nejsou běžně dostupné. Dále pak existuje možnost vzájemné nekompatibility jednotlivých prvků a posledním úskalím, kterým však trpí snad všechny varianty, je možná nekompatibilita s vybraným operačním systémem. I z hlediska času potřebného pro návrh vlastního systému se tato varianta jeví jako méně atraktivní.

Kromě negativních stránek, má toto řešení i stránky pozitivní. Především cena bude zcela jistě nižší, než u komerčních hotových systémů. Výběr komponent bude zcela v naší režii, a bude tedy záviset na našich požadavcích, což nám umožní vybrat řešení přesně na míru.

#### **Základní deska**

Jde o základní hardware, který bude tvořit výpočetní systém. Jedním z parametrů desky je její velikost. Z hlediska vybavení nás bude zajímat především počet a typ ethernetových a USB přípojek, neboť nebude potřeba připojovat téměř jiná periferní zařízení. Vzhledem k tomu, že většina základních desek poskytuje maximálně 2 ethernetové konektory, bude nutné vybavit systém i další síťovou kartou, proto ani tento parametr příliš neovlivní konkrétní výběr. Podstatná pro nás také je podpora vícejádrových procesorů, případně možnost osazení více procesory, množství osaditelné paměti, počet rozšiřujících slotů PCIe a počet konektorů pro pevné disky. Ideální se jeví desky pro procesory Intel i7/i5/i3.

Díky tomu, že nám mechanická konstrukce umožní použít i velké základní desky, není omezujících podmínek mnoho a lze tedy vybírat. Mezi vhodnými kandidáty jsou například tyto desky: ASUS AT5IONT-I Deluxe, Kontron KTQM67/mITX/Flex, LV-67H 2nd generation Intel Core i7/i5/i3 Industrial Mini-ITX Single Board Computer nebo MSI X79A-GD65 - Intel X79, k níž jsme se nakonec přiklonili především proto, že umožní připojení až 128 GB paměti, což je velmi pozitivní přínos.

## Procesor

Výpočetní výkon bude soustředěn v procesoru a grafické kartě. Jelikož náročnost jednotlivých úkolů je vysoká, musí mít i procesor dostatečný výkon. Jednojádrové procesory nepřipadají v úvahu, ze dvoujádrových lze vybírat ty, které podporují technologii *Hyperthreading* (vylepšení paralelizace výpočtu na mikropocesoru). Volba procesoru není příliš náročná. V podstatě máme k dispozici pouze dva výrobce – Intel a AMD. Z výkonnostních testů jasně plyne, že z hlediska výkonu jsou lepší volbou procesory Intel. Cenově vychází lépe AMD, ale výkon procesoru je v tuto chvíli důležitější. Z portfolia firmy Intel pak máme k dispozici velkou škálu procesorů. Jelikož nám jde především o výkon, pak se musíme zaměřit na jádra z rodiny Intel Core i7 nebo na procesory Intel Xeon. Výkonově jsou obě varianty srovnatelné a pro oba typy existují dvouprocesorové základní desky s dostatečným množstvím paměťových slotů a vyšší modely Core i7 jsou kompatibilní s procesory Xeon. Pro naše účely se lépe hodí procesory Intel. Konkrétně je procesor Intel Core i7-3930K, který je tím nejlepším, co nabízí segment desktopových procesorů.

Procesor Intel Core i7-3930K je určen pro stolní počítače, je 64bitový, nabízí možnost úpravy výkonu přetaktováním, se šesti jádry s podporou technologie Hyper-Threading a tedy dvanácti jádry virtuálními a stejným počtem najednou vykonávaných instrukcí. Každé z fyzických jader je taktováno na 3.2 GHz. Tento procesor podporuje technologii Intel Turbo Boost, která mu umožní v případě potřeby zvednout pracovní frekvenci na 3.8 GHz. Procesor je typu Sandy Bridge série E pro patičku Socket 2011. Procesor je vyráběn 32 nm technologií a je vybaven 4kanálovým paměťovým řadičem pro paměti typu DDR3, 12 MB vyrovnávací paměti třetí úrovně (L3 Cache) a 6x 256 kB vyrovnávací paměti druhé úrovně (L2 Cache). Procesor podporuje řadu různých rozšíření a technologií zaměřených především na multimédia (instrukční sady SSE, SSE2, SSE3, SSE4.1, SSE4.2 včetně AES), technologie Enhanced Speedstep, která je zodpovědná za vypínání jednotlivých částí procesoru a tím i za efektivnější provoz a chlazení. Maximální tepelný výkon udávaný výrobcem činí 130 W, což je údaj důležitý pro správné dimenzování zdroje a především chladiče.

## Chladič

Procesor je potřeba chladit buď aktivně, nebo pasivně. Pasivním chladičem rozumíme chladič, který neobsahuje žádnou aktivní část (ventilátor), naopak aktivní tuto část obsahují. Pro vybraný procesor byl zvolen kvalitní chladič Coolermaster Hyper 412 Slim se dvěma ventilátory, který je dostatečně dimenzován na tepelný výkon vybraného procesoru. Chladič je standardně osazen dvěma ventilátory o průměru 120 mm a výšce 15 mm s PWM regulací, které se otáčejí rychlostí od 500 do 1600 otáček za minutu.

## Paměť

Ze základních úvah a propočtů je zřejmé, že systém bude muset poskytovat velké množství operační paměti, proto také byla vybrána základní deska, která to umožňuje (až 128 GB paměti). Pro procesory Core i7 je typické využití paměti typu DDR3 s rychlostí oficiálně od 1066 do 1333 MHz. Z velkého množství dostupných variant byla zvolena paměť Kingston HyperX Red XMP, moduly o kapacitě 8 GB v počtu 8 kusů. Moduly Kingston KHX16C10B1RK2/16 jsou dvojicí paměťových modulů typu DDR3 určených pro pracovní frekvence až do 1600 MHz (odpovídá PC12800) a časování CL10 na své pracovní frekvenci při napětí 1,5 V. Paměťové moduly podporují funkci Intel XMP (*Extreme Memory Profiles*), kdy paměťové moduly obsahují několik přednastavených časovacích profilů pro usnadnění provozu v různých situacích. Paměťové moduly jsou dodávány s hliníkovým chladičem, který odvádí teplo od paměťových čipů.

## Síťová karta

Dle specifikace požadavků je nutné dodat do systému další ethernetová rozhraní. Běžně jsou na základních deskách dostupné 1-2 konektory RJ-45 pro připojení k síti ethernet kabelem UTP. Je tedy nutné systém doplnit o další síťovou kartu. Vhodná síťová karta musí co nejméně zatěžovat procesor a musí mít nízkou latenci. Takové podmínky splňují například serverové síťové karty od firmy Intel. Zvolena byla karta Intel PRO/1000 PT Quadro Port Server Adapter, která využívá sběrnice PCI Express k zajištění vysokorychlostního přenosu dat přes gigabitové ethernetové spoje. Dedikovaná propustnost je díky zapojení do portu PCI Express 4x zajištěna a plný výkon lze garantovat na každém ze čtyř portů bez sdílení sběrnice.

## Úložiště dat

Pro účely ukládání dat je potřeba vybrat diskové jednotky. Díky vývoji v oblasti SSD (*Solid State Drive*) se ukazuje jako velmi dobrá možnost použít tento typ disku pro ukládání dat. Některé SSD lze připojit prostřednictvím sběrnice PCIe. Tyto disky jsou pak schopny ukládat data rychlostí až 1250 MB/s, což značně převyšuje požadavky na rychlost záznamu maximalistické varianty. Pro dlouhodobé ukládání dat je vhodné vytvořit buď diskové pole, nebo pořídit pomalejší velkokapacitní disk, jehož pořizovací cena je dnes vcelku nízká. SSD je mnohonásobně rychlejší při čtení i zápisu než klasické HDD a neobsahuje pohyblivé části, čímž se snižuje možnost poškození. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena, celkově nižší kapacita a zatím nejasná životnost dat.

## Grafická karta

Pro zvýšení výpočetního výkonu u dobře paralelizovaných úloh využijeme moderních grafických karet. Toto řešení se jeví jako schůdnější varianta než použití například doplňující desky s DSP, proto se zaměříme i na grafické akcelerátory. Na trhu lze nalézt několik základních skupin grafických karet – obyčejné grafické karty (běžná 2D a 3D grafika, nízký výkon), profesionální 2D karty (běžná 2D grafika, výborná akcelerace – pro animační studia apod.), herní grafické karty (běžná grafika, velký 3D výkon, výpočty s jednoduchou přesností – datový typ *float*, některé dražší modely nabízejí i výpočty se zvýšenou přesností), profesionální 3D karty (běžná grafika a specializace na CAD, renderovací systémy, apod., mají vysoký 3D výkon, vysoký výkon výpočtů se zvýšenou přesností – datový typ *double*) a nakonec grafické karty specializované pro tzv. GP-GPU (obecné výpočty prováděné na grafických kartách, mají vysoký výkon se zdvojenou přesností). Z uvedených skupin se pro naše účely bude hodit téměř jakákoliv grafická karta, omezení budeme především finančně.

V současnosti figurují na trhu v podstatě pouze dva výrobci čipů grafických karet – AMD a nVidia. Ceny profesionálních výpočetních karet jsou velmi vysoké a přínos v poměru cena/výkon by nebyl odůvodnitelný, jelikož jejich výkon nevyužijeme především proto, že tyto karty jsou zaměřeny na výpočet s čísly s dvojitou přesností. Kromě těchto specializovaných karet je možné zakoupit klasické grafické karty, která poskytuje výkon ca o 30% nižší při počtech v dvojitě přesnosti a srovnatelný, možná i vyšší, výkon při použití jednoduché přesnosti, za poloviční cenu. Zásadní rozdíl mezi těmito produkty je ten, že profesionální karty urychlují lépe výpočty v plovoucí řádové čárce s dvojitou přesností, kdežto karty běžné se lépe hodí na výpočty s jednoduchou přesností čísel v plovoucí řádové čárce. Naše algoritmy nikterak neutrpí použitím nižší přesnosti, která je pro naše účely dostatečná, je tedy možné využít i toto alternativní řešení v podobě moderních herních karet, které nám tak poskytnou velmi dobrý poměr cena/výkon.

Důležitým kritériem je také způsob programování těchto karet a způsob využití jejich výkonu. Karty nVidia lze programovat prostřednictvím CUDA, což je prostředí navržené právě pro tyto karty, které nám poskytuje programátorské rozhraní pro tvorbu aplikací využívajících masivně paralelního výkonu grafických karet. Ke stejným účelům nabízí karty ATI od AMD standardizované prostředky v podobě

rozhraní OpenCL, Direct Compute nebo C++ Amp. Tato programátorská prostředí lze aplikovat i na karty nVidia a v podstatě na jakékoliv karty, které poskytují výpočetní prostředky, jsou tedy univerzální. Z hlediska programátorského se jako příjemnější jeví programování v prostředí CUDA, neboť je jednodušší a provozní režie je nižší než u konkurenčních řešení, což je zřejmě dáno i tím, že ostatní řešení jsou univerzální, kdežto CUDA je cílená na konkrétní hardware od jediné firmy. Konkrétním vybraným modelem byla karta GIGABYTE GTX 670 Ultra Durable OC 2GB, která splňovala veškeré naše požadavky.

## **Napájecí zdroj**

Napájecí zdroj musí být schopen zásobovat celý hlavní výpočetní systém energií. Pro běžné výpočetní systémy se typicky využívají zdroje typu ATX, které transformují střídavý proud na stejnosměrný proud s tím, že poskytují několik různých úrovní napětí (typicky  $\pm 12$  V,  $\pm 5$  V a  $\pm 3,3$  V) s různou vydatností (dle kvality zdroje až v desítkách ampér především na větvi +12 V). Pro navrhovaný systém bude potřeba brát zřetel především na výpočetní nároky procesoru a přídatné grafické karty, což budou největší spotřebitelé proudu. Dále je nutné počítat s případnou nutností rozšíření systému od další grafickou kartu, je tedy vhodné zdroj dostatečně dimenzovat (lépe i předdimenzovat), abychom předešli nutnosti nahrazení zdroje novým v blízké budoucnosti.

Abychom mohli stanovit přibližné energetické požadavky na zdroj, musíme zhruba vyjádřit spotřebu jednotlivých prvků hlavního systému. Jelikož přesné hodnoty požadavků na napájení v podstatě žádný výrobce neuvádí, je potřeba k tomuto účelu najít způsob kalkulace spotřeby. Podporu pro kalkulaci výkonu zdroje nalezneme na internetu v podobě online kalkulačků spotřeby, které vycházejí ze statistických hodnot naměřené spotřeby různých komponent a umožňují vytvořit alespoň přibližnou představu o nárocích výpočetního systému.

Pro náš systém, který bude zahrnovat 1 procesor (ca 130 W) pro patici LGA 2011, 8 kusů pamětí DDR3, grafickou kartu (zatím jednu) nVidia GeForce GTX 670 (spotřebu lze odhadovat na 150 W), 1 SSD disk (později i další archivační disk), 1 síťová karta do slotu PCIe x4, zhruba 3 USB zařízení a 4-5 ventilátorů 120 mm vychází odhad spotřeby na minimum 400 W a optimum ca 450 W. Počítáme-li s dalšími disky na archivaci videa a dalšími dvěma grafickými kartami, dosáhne optimální hodnota výkonu zdroje hodnoty 800 W. Abychom předešli havárii zdroje a zajistili dostatečnou rezervu výkonu, přikloníme se ke zdroji schopnému dodat výkon až 1200 W, konkrétně pak byl jako nejvhodnější vybrán zdroj Fortron Aurum Pro 1200 W, 80+ Gold (tedy účinný zdroj s dostatečnou rezervou), který je navíc modulární, řeší tedy problém nadbytečné kabeláže v prostoru výpočetního systému.

## **Interakce s uživatelem**

Důležitou součástí jednokamerového systému je interakce s uživatelem. Pro komunikaci s uživatelem slouží jako hlavní prostředek vstupní dotykové a zobrazovací zařízení v podobě dotykového displeje, který zároveň slouží jako vstup i výstup. Další formou interakce s uživatelem je klávesnice a ovladač s joysticky a tlačítky – joypad.

Výběr řešení s dotykovým ovládáním vychází z předchozích zkušeností ovládáním software pro sledování – přináší komfort uživateli a patří dnes mezi dostupná řešení. Díky rozvoji technologií, ale i poptávky a nabídky v tomto segmentu (i díky masivnímu rozšíření tabletů) je možné vybírat z různých variant řešení. Abychom zpříjemnili uživatelskou zkušenost se systémem, rozhodli jsme se pro dotekový monitor s dostatečným rozlišením a úhlopříčkou. Našimi požadavky byly rozlišení alespoň 1920 × 1080 bodů a úhlopříčka větší než 20". Vybrán byl monitor firmy Iiyama T2250MTS.



Alternativním způsobem ovládání, a pro určité situace i nezbytným, je vstup z klávesnice, který umožňuje specifikovat detailně některé informace (například popis vzniklé situace, popis cíle, apod.). Klávesnice je běžná USB nebo PS/2, zde není potřeba vybírat nějaké specializované zařízení.

Joypad je dalším způsobem ovládání, které je zaměřeno na přímé řízení systému. Joypady se stávají velice populárním v mnoha oblastech a i ve vojenské sféře se více a více uplatňují tyto dříve spíše herní prvky. Cílem je poskytnout uživateli systému možnost pohodlného ovládání, neboť uživatelský komfort je také důležitým kritériem kvality celého řešení. Joypad je zařízení, které se skládá typicky ze dvou joysticků, křížového tlačítkového ovladače a několika tlačítek (typicky 8-12) a lze je hrubě rozdělit na běžné a specializované. Mezi běžné patří dostupné herní ovladače, které pro naše účely plně dostačují, ale lze vybrat i specializované, které mají robustní konstrukci, řádově vyšší pořizovací cenu a velmi často jsou ve formě zařízení, která je nutné zabudovat (tedy jakési polotovary).

### 3.4.5 Návrh sestavy výpočetního systému

Návrh výpočetního hardware se opírá o základní desku MSI s novější patičí LGA2011 pro procesory Intel. Operační paměť má kapacitu 64 GB, což umožní ukládat naprostou většinu dat do paměti nebo využít paměťový disk. Pro akceleraci a paralelní výpočty byla zvolena výkonná grafická karta s 1344 procesory s čipem nVidia GTX 670, procesor byl zvolen z řady Intel Core i7 39xx, jako základní deska byla zvolena MSI X79A-GD65. Jako úložiště poslouží běžný SSD disk Corsair Force GS 360 GB s kapacitou 360 GB. Cena výsledné sestavy v oblasti kolem 50 000,- Kč bez DPH je velmi příznivá pro takto výkonný systém. Položky jsou shrnuty v následující tabulce.

Komponenta	Výrobce	Typ
Základní deska	MSI	MSI X79A-GD65
Procesor	Intel	Core i7-3930K
Chladič	Coolermaster	Hyper 412 Slim
Paměť	Kingston	HyperX Red XMP, dvojice á 8 GB (KHX16C10B1RK2/16), 4 ks
Síťová karta	Intel	Gigabit ET2 (4portová)
SSD disk	Corsair	Corsair Force GS - 360GB
Grafická karta	Gigabyte	GTX 670 Ultra Durable OC 2GB
Napájecí zdroj	Fortron	AURUM PRO 1200W 80PLUS GOLD

Výsledným řešením pro kamerový systém, k němuž jsme se přiklonili, je tedy centralizovaný výpočetní systém bez dalších vložených podsystémů. Nebude tedy využito žádné dodatečné zařízení pro zpracování obrazu. Systém bude obsahovat dostatečně výkonnou grafickou kartu a procesor. Také bude doplněn o dostatečné množství paměti a datovým úložištěm tak, jak je to popsáno v předchozích kapitolách.

## 3.5 Shrnutí

Elektronický systém kamerového systému se skládá z několika prvků – elektroniky kamerové hlavy v podobě kamery samotné a zařízení pro kontrolu stavu zoomu a ostření, hlavního výpočetního systému,

který je srdcem celého zařízení a slouží ke komunikaci s uživatelem a k provádění výpočtů, a vstupně-výstupních ovládacích prvků.

Výsledkem spojení výše popsaných prvků je systém, který splňuje požadavky stanovené v kapitole 1.2. Celý kamerový systém se pak bude skládat z navržené nosné platformy, manipulátoru, kamerové hlavy, hlavního výpočetního systému, další drobné elektroniky a vstupně výstupních periférií.

Kamerová hlava je již hotová a další části systému budou hotovy v následujícím roce řešení a zahrnuje elektroniku pro řízení zoomu a ostření a čtení zpětnovazebních informací. Kamerová hlava je odolné konstrukce a obsahuje v sobě kameru Allied Vision Prosilica GX1660, objektiv Fujinon C22x17B-Y41 a zařízení pro čtení stavu zoomu a ostření objektivu v podobě desky STM32F4DISCOVERY. Hlavní výpočetní systém je zatím externí a je složen z komerčně dostupných prvků, jejichž výběr je založen na teoretických výpočtech, které stanovují výpočetní nároky hardware pro kamerový systém. Jako vstupní zařízení slouží běžná klávesnice, ovládací zařízení joystick a doteková plocha zobrazovacího zařízení. Výstupem (i dotykovým vstupem) je pak LCD panel Iiyama T2250MTS.

Cílem je dosáhnout funkčního vzoru kamerového systému s nosnou platformou a manipulátorem, vše na konstrukci s integrovanou elektronikou. Tohoto cíle bude dosaženo v následujících letech řešení projektu.



Obrázek 3.2: Snímek kamerové hlavy.

## 4 Závěr

Tato práce shrnuje poznatky, které mají vztah k problematice konstrukce funkčního vzoru kamerového systému, který později bude sloužit sledování objektu především pro účely bezpečnostních aplikací.

Výběr a zhotovení systému pro automatické sledování objektů jsou stěžejními částmi této práce. Byl navržen systém skládající se z nosné platformy, manipulátoru, kamerové hlavy a drobné elektroniky. Elektronický systém kamerového systému se skládá z elektroniky kamerové hlavy v podobě kamery samotné a zařízení pro kontrolu stavu zoomu a ostření, hlavního výpočetního systému, který je srdcem celého zařízení a slouží ke komunikaci s uživatelem a k provádění výpočtů, a vstupně-výstupních ovládacích prvků.

Nosná platforma je velmi jednoduchým řešením, které bylo v silách naší fakulty, nicméně jde o výstup dostačující a plnící svou funkci – tedy ponese manipulátor, kamerovou hlavu a je v ní integrován celý

elektronický subsystém včetně hlavního výpočetního systému. Pořízený manipulátor a vnitřní prvky kamerové hlavy jsou komerčními produkty, které jsme upravili opět pro potřeby kamerového systému tak, aby splňovaly naše požadavky. Pro práci v roce 2014 byl zvolen manipulátor od firmy EVPÚ Defence MST-01, který splnil naše očekávání a kamerová hlava, kterou jsme upravili pro naše potřeby integrací elektroniky pro řízení zoomu a ostření a čtení zpětnovazebních informací. Kamerová hlava je odolné konstrukce a zahrnuje v sobě kameru Allied Vision Prosilica GX1660, objektiv Fujinon C22x17B-Y41 a zařízení pro čtení stavu zoomu a ostření objektivu v podobě desky STM32F4DISCOVERY. Hlavní výpočetní systém je složen z komerčně dostupných prvků, jejichž výběr je založen na teoretických výpočtech, které stanovují výpočetní nároky hardware pro kamerový systém. Jako vstupní zařízení slouží běžná klávesnice, ovládací zařízení joypad a doteková plocha zobrazovacího zařízení. Výstupem (i dotykovým vstupem) je pak LCD panel.

Takto vytvořený stacionární jednokamerový systém naplňuje naše představy o pasivním, kamerovém sledovacím systému. Je zřejmé, že je mnoho míst, která lze na stávajícím návrhu vylepšit, a předpokládáme, že v budoucnu budeme toto zařízení dále rozvíjet a využívat, zejména se zaměříme na pohyblivý jednokamerový systém, který využije připojeného manipulátoru.

## 5 Literatura

- [1] Joseph, M.: *Real-Time Systems Specification, Verification and Analysis*. London: Prentice Hall, 1996. ISBN 0-13-455297-0.
- [2] Šumbera, P.: *Porovnávací test operačních systémů reálného času* [online, cit. 2010]. Publikováno 2000. In: *Automa*. Dostupné z <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=27836](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27836)>.
- [3] Gallagher, J.: *Information Systems: A Manager's Guide to Harnessing Technology, v. 1.3*. Flat World Knowledge, 2011, s. 352. ISBN 978-1-4533-3272-6.
- [4] Silberschatz, A., Galvin, P. B.: *Operating System Concepts*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc., 2008, s. 992. ISBN 978-0470128725.
- [5] Doepfner, T. W.: *Operating Systems In Depth: Design and Programming*. John Wiley & Sons, 2010, s. 444, ISBN 978-0471687238.
- [6] *Wireless Gigabit Alliance* [online, cit. 2012]. Dostupné z <<http://wirelessgigabitalliance.org/>>.
- [7] Wikipedie: IEEE802.11ac [online, cit. 2012]. Dostupné z <[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ac](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac)>.
- [8] Cisco: 802.11ac: *The Fifth Generation of Wi-Fi*. Technická zpráva. 2012, s. 25.
- [9] Wikipedie: *Quadrature Amplitude Modulation* [online, cit. 2012]. Dostupné z <[http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation)>.
- [10] Broadcom: Broadcom Launches First Gigabit Speed 802.11ac Chips - Opens 2012 CES with 5th Generation (5G) Wi-Fi Breakthrough [online, cit. 2012]. Dostupné z <<http://www.broadcom.com/press/release.php?id=s637241>>
- [11] Románek, D.: *Co je CANopen a jak na něj* [online]. Vystaveno 20. 3. 2006 [cit. 6. 3. 2011]. Dostupné z <<http://hw.cz/Produkty/Obecne-produkty/ART1563-Co-je-CANopen-a-jak-na-naj.html>>.
- [12] ST Microelectronics: *STM32F4DISCOVERY: Discovery kit for STM32 F4 series - with STM32F407 MCU Active* [online]. Technická dokumentace. Dostupné z <<http://www.st.com/internet/evalboard/product/252419.jsp>>.
- [13] Microchip: *MCP2551. Microchip* [online]. [cit. 2012-11-27]. Technická dokumentace. Dostupné z: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010405>>
- [14] *Sparkfun level shifter* [online]. Dostupné z <<http://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/Level-Converter-v10.pdf>>
- [15] *FreeRTOS* [online]. Oficiální internetová prezentace operačního systému. Dostupné z <<http://www.freertos.org/>>
- [16] MCUHobby.cz: *Představujeme FreeRTOS* [online]. Publikováno 30. 1. 2010 [cit. 2012]. Dostupné z <<http://www.mcuohobby.cz/2010/01/predstavujeme-freertos/>>