



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

IMPLEMENTACE VZDÁLENÉHO TERMINÁLU NA SBĚRNICI MILBUS

IMPLEMENTATION OF REMOTE TERMINAL ON MILBUS

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Čechura

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Dvořák

BRNO 2022



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Petr Čechura

ID: 230234

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Implementace vzdáleného terminálu na sběrnici Milbus

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s požadavky kladenými na vzdálený terminál (RT) na sběrnici MIL-STD-1553B. V rámci semestrálního projektu prostudujte standardy MIL-STD-1553B a ECSS-E-ST-50-13C a definujte požadavky a architekturu terminálu na sběrnici Milbus.

V navazující bakalářské práci popište rozhraní v jazyce VHDL, proveďte verifikaci návrhu vzhledem ke stanoveným požadavkům a následně i vzorovou implementaci do zvoleného obvodu FPGA.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 19.9.2022

Termín odevzdání: 16.12.2022

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Dvořák

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato semestrální práce se zabývá komunikační sběrnici MIL-STD-1553B, s motivací návrhu vzdáleného terminálu do obvodu FPGA na hradlové úrovni.

Nejprve jsou v první kapitole rozebrány nejdůležitější poznatky ze standardu, který pro sběrnici vyšel v 1978, a to za účelem přiblížit průběh a pravidla komunikace ve sběrnici, a definovat požadavky, které jsou na terminál kladeny. Na to navazuje druhá kapitola, týkající se standardu ECSS-E-ST-50-13C. Ten popisuje komunikaci na úrovni subsystémů (tedy na vyšší komunikační vrstvě) a přibližuje, jakým způsobem mohou být efektivně využity funkcionality, které obsahuje předchozí standard.

Poslední kapitola se věnuje návrhu architektury v obvodu FPGA – shrnuje nároky na terminál, naznačuje, jak může vypadat propojení se sběrnici za pomoci dostupných obvodů, a obsahuje prototyp architektury, kterou bude inspirován návrh v rámci bakalářské práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

MIL-STD-1553B, ECSS-E-ST-50-13C, FPGA, sběrnice, přenos dat, vojenské technologie

ABSTRACT

This semestral thesis deals with a communication bus MIL-STD-1553B with motivation of designing remote terminal into a FPGA circuit at gate level.

First chapter handles the most important stuff from a standard that was released in 1978, in purpose to show how the communication is working on the bus and to define the requirements for a remote terminal. The second chapter follows with a standard ECSS-E-ST-50-13C which focuses on data transfer between subsystems, therefore on higher communication layer, and shows how the functionalities from previous standard can be used most properly.

The last chapter is about designing an architecture in FPGA – it contains all requirements on remote terminal, suggests how the connection between bus and terminal can be made using available external circuits and includes a prototype of an architecture that will inspire a design within bachelor's thesis.

KEYWORDS

MIL-STD-1553B, ECSS-E-ST-50-13C, FPGA, bus, data transfer, military technology

ČECHURA, Petr. *Implementace vzdáleného terminálu na sběrnici Milbus*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2022, 48 s. Semestrální práce. Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Dvořák

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Petr Čechura
VUT ID autora: 230234
Typ práce: Semestrální práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Implementace vzdáleného terminálu na sběrnici Milbus

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu Ing. Vojtěchu Dvořákovi za cenné rady, konzultace, zájem o problematiku a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
Teoretická část studentské práce	12
1 Sběrnice MIL-STD-1553B	12
1.1 Základní popis	12
1.2 Stručná historie	12
1.2.1 Použití sběrnice	12
1.2.2 Specifikace standardů MIL-STD-1553A a MIL-STD-1553B	13
1.3 Zařízení ve sběrnici	13
1.3.1 Řadič sběrnice	14
1.3.2 Terminál	14
1.3.3 Sledovač sběrnice	14
1.4 Komunikace mezi periferiemi	14
1.5 Fyzická vrstva	16
1.6 Formáty slov	17
1.6.1 Příkazové slovo	18
1.6.2 Datové slovo	20
1.6.3 Stavové slovo	20
1.7 Řízení přenosu po sběrnici	21
1.7.1 Přenos dat z BC do RT	22
1.7.2 Přenos dat z RT do BC	22
1.7.3 Přenos dat z RT do RT	22
1.7.4 Mode code bez dat	23
1.7.5 Mode code následovaný daty	23
1.7.6 Broadcast	24
2 Standard ECSS-E-ST-50-13C	25
2.1 Základní popis	25
2.2 Služby	25
2.2.1 Služba synchronizace komunikace ¹	25
2.2.2 Služba času ²	27
2.2.3 Služba přenosu dat ³	28

¹Anglický termín: *Communication synchronize service*

²Anglický termín: *time service*

³Zahrnuje dvě služby, označované ve standardu ECSS-E-ST-50-13C jako *Set Data* a *Get Data service*)

2.2.4 Služba toku datových bloků ⁴	30
3 Návrh architektury terminálu	32
3.1 Základní požadavky	32
3.2 Fyzická vrstva	32
3.3 Vnitřní struktura	34
Závěr	36
Literatura	37
Seznam symbolů a zkratk	38
Seznam příloh	39
A Architektury terminálu v literatuře	40
B Komunikace dle standardu ECSS-E-ST-50-13C	42
B.1 Odesílání dat	42
B.2 Příjem dat	44
B.3 Deskripce datového bloku (DTD)	46
B.4 Potvrzení přenosu datového bloku (DTC)	46
B.5 Žádost o příjem (ATR)	47
B.6 Potvrzení příjmu (ATC)	47
C Obvod HI-15960	48

⁴Anglický termín: *Data block transfer service*

Seznam obrázků

1.1	Topologie zařízení ve sběrnici	13
1.2	Kódování Manchester – převzato z [1]	15
1.3	Ukázka převodu diferenciálního přenosu na nesymetrický	16
1.4	Možné způsoby připojení terminálu ke sběrnici (upraveno z [1])	17
1.5	Význam jednotlivých bitů v příkazovém slově	18
1.6	Význam jednotlivých bitů v datovém slově	20
1.7	Význam jednotlivých bitů ve stavovém slově	20
1.8	Struktura zprávy při přenosu dat z řadiče sběrnice do terminálu . . .	22
1.9	Struktura zprávy při přenosu dat z terminálu do řadiče sběrnice . . .	22
1.10	Struktura zprávy při přenosu dat z terminálu 2 do terminálu 1	22
1.11	Struktura zprávy při použití režimu mode code bez přenosu dat . . .	23
1.12	Struktura zprávy při použití režimu mode code s přenosem dat	23
2.1	Struktura komunikačního rámce při použití služby času	26
2.2	Obsazování volných slotů v komunikačních rámcích	26
2.3	Ukázka možné komunikace mezi subsystémy a periferiemi	27
2.4	Průběh časové synchronizace za využití služby času na úrovni sub- systémů	28
2.5	Průběh komunikace při odesílání dat pomocí služby přenosu dat .	29
2.6	Průběh komunikace při příjmu dat pomocí služby přenosu dat . .	29
3.1	Průběh signálu na vývodech obvodu HI-15690 při přijímání dat a ode- sílání dat	33
3.2	Propojení mezi FPGA a obvodem HI-15690	33
3.3	Návrh architektury terminálu pro bakalářskou práci	35
A.1	Architektura terminálu podle publikace [5]	40
A.2	Architektura terminálu podle publikace [11]	41
B.1	Odesílání dat z řadiče do terminálu podle služby datových toků . .	42
B.2	Průběh odesílání dat z řadiče do terminálu metodou Best Effort v rámci služby datových toků	43
B.3	Průběh odesílání dat z řadiče do terminálu metodou Verified Len- gth v rámci služby datových toků	43
B.4	Příjem dat z terminálu do řadiče podle služby datových toků . . .	44
B.5	Průběh příjmu dat z terminálu do řadiče metodou Best Effort v rámci služby datových toků	45
B.6	Průběh příjmu dat z terminálu do řadiče metodou Verified Length v rámci služby datových toků	45
B.7	Struktura zprávy Deskripce datového bloku	46
B.8	Struktura zprávy Potvrzení přenosu datového bloku	46

B.9	Struktura zprávy Žádost o příjem	47
B.10	Struktura zprávy Potvrzení příjmu	47
C.1	Vnitřní struktura obvodu HI-15960 (převzato z [4])	48

Úvod

Sběrnice MIL-STD-1553B je i přes své stáří stále používanou technologií, zejména pak ve vojenských a (v poslední době) také vesmírných systémech. Může za to především skutečnost, že se jedná o zaběhlou a léty osvědčenou technologii a mnohé systémy jsou pro ni přizpůsobeny. Díky své lehké uchopitelné nátuře a dostatečnému množství dokumentace se navíc stalo běžnou praxí implementovat jednotlivé periferie do obvodů FPGA, což ještě více posiluje užitečnost a variabilitu sběrnice. Tato semestrální práce má za úkol seznámit čtenáře s nejdůležitějšími pojmy, které se pojí se sběrnici; snaží se shrnout vše, co je potřeba pro návrh vzdáleného terminálu, čímž se pak v závěrečné části zabývá.

Protože sběrnice není příliš rozšířená v České republice, drtivá většina dokumentace je v anglickém jazyce. V rámci zpracování tématu jsou proto mnohé termíny překládány, vždy s odkazem na původní anglický výraz, aby bylo možné dohledat dodatečné informace v originální literatuře.

1 Sběrnice MIL-STD-1553B

1.1 Základní popis

Z hlediska rozdělení komunikačních sběrnic je MIL-STD-1553B **sériovou** sběrnicí, používající *master-slave* model pro řízení datového toku. Byl vyvinut Americkou armádou, a i přesto, že existují modernější a bezpečnější sběrnice (Firewire, ATM, FDDI - viz [13]), je v současnosti stále využíván z důvodu obtížné implementace nové technologie do zaběhlých systémů. [12]

Protože standard vznikl v 80. letech 20. století a hlavním požadavkem byla především spolehlivost, nelze jej považovat za příliš bezpečný proti kybernetickým útokům. O této problematice rozsáhle pojednávají publikace [2] a [12].

1.2 Stručná historie

Myšlenka pro vytvoření sběrnice MIL-STD-1553 vznikla po druhé světové válce s rostoucí složitostí a komplexností subsystémů v leteckých technologiích. Stávalo se téměř nemožným, aby každé dva komunikující subsystémy vyžadovaly speciální komunikační kanál. Proto byla v roce 1968 na žádost americké vlády zformována skupina odborníků, kteří dostali za úkol vytvořit komunikační sběrnici, která by umožňovala bezpečnou a multiplexovanou komunikaci mezi jednotlivými periferiemi. [7]

Reakcí bylo v roce 1973 uvedení standardu sběrnice **MIL-STD-1553**. Standard byl v následujících letech dvakrát aktualizován, z čehož vznikly dvě modifikace: MIL-STD-1553A (starší verze – 1975) a MIL-STD-1553B (novější verze – 1978). [7] [5]

Verze B se v nezměněné podobě používá dodnes a byla upravována jen v podobě vyhlášek (angl. *notices*), které pouze měnily některé zaběhlé termíny a odstranily omezení na letecké systémy. Poslední vyhláška (číslo 7) vyšla v roce 2008. [5]

V roce 2018 byla uvedena revize MIL-STD-1553C, která zařazuje požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu do samostatného dokumentu a pozměňuje některé operace s terminálem. [3]

1.2.1 Použití sběrnice

Historicky první implementace sběrnice (verze A) byly ve stíhacím letounu F-16 a vojenské helikoptěře AH-64A Apache. Ověřování v praxi rychle podnítilo myšlenku standard zrevidovat, protože dostupné funkce nestačily pro požadavky systému. [5] Roku 1981 přijalo standard NATO a vydalo vlastní verzi pod názvem STANAG 3838,

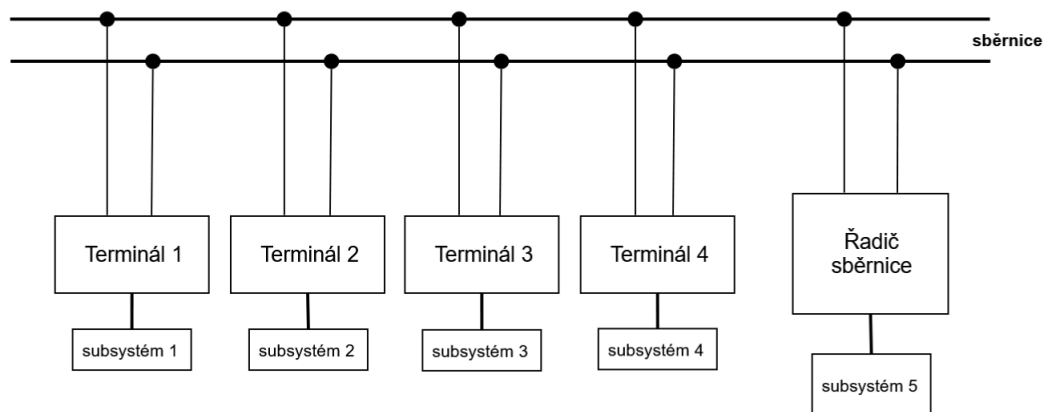
která byla použita v mnoha vojenských systémech (např. Hawk 1T trainer, Lynx helicopter, SAK 57 automatic cannon...).

1.2.2 Specifikace standardů MIL-STD-1553A a MIL-STD-1553B

Novější standard MIL-STD-1553B je skoro ve všech ohledech složitější a rozsáhlejší; umožňuje například použití utilit jako *Mode code* (viz 1.6.1) a *Broadcast mode* (viz 1.7.6, které rozšiřují možnosti komunikace mezi subsystémy a nabízí lepší přizpůsobení architektury podle požadavků konkrétní aplikace za cenu větší komplexnosti. Rovněž definuje některé další požadavky (například elektromagnetickou kompatibilitu, parametry transformátoru ve fyzické vrstvě), které starší standard nechával na návrháři, jiné naopak redefinuje (specifikace vazebního členu (*coupler*), doba odezvy RT) a některé dokonce vynechává (použité konektory ve sběrnici). Konkrétních změn je poměrně velký počet a protože se tato práce zabývá právě novějším standardem, nebudu se na ně dále odkazovat. [1]

1.3 Zařízení ve sběrnici

Protože celá sběrnice je postavena na topologii *master-slave*, mají jednotlivé subsystémy pevně danou hierarchii a rozdělují se na **řadič sběrnice** (angl. *bus controller*, zkr. **BC**), **terminál** (angl. *remote terminal*, zkr. **RT**) a **sledovač sběrnice** (angl. *bus monitor*, zkr. **BM**).



Obr. 1.1: Topologie zařízení ve sběrnici

1.3.1 Řadič sběrnice

Řídicí jednotka celé sběrnice (tedy *master*), která jediná může zahájit přenos mezi jednotlivými periferiemi. Kromě řízení přenosu také analyzuje a vede historii chybných zpráv. Ve sběrnici se může v aktivním stavu nacházet pouze jeden *řadič sběrnice*, ale v některých aplikacích lze nalézt tzv. záložní řadič sběrnice (angl. *backup bus controller*), který může sloužit jako náhrada.

1.3.2 Terminál

Představuje periférii pro všechna zařízení, která mezi sebou mají komunikovat po sběrnici (tedy *slaves*). Bez dovolení řadiče sběrnice nemůže sama zahájit přenos. Standard MIL-STD-1553B dovoluje až 31 terminálů, každý má ve sběrnici svou unikátní adresu. Právě touto periferií se tato práce zabývá a je tedy podrobně rozebrána v části 3.3.

1.3.3 Sledovač sběrnice

Ve sběrnici se může nacházet ještě tzv. sledovač sběrnice, který pouze monitoruje celý přenos a ukládá data do off-line paměti. Nijak nezasahuje do komunikace, nemůže posílat data do jiných periferií. Používá se pro zpětnou revizi komunikace například v případě poruchy.

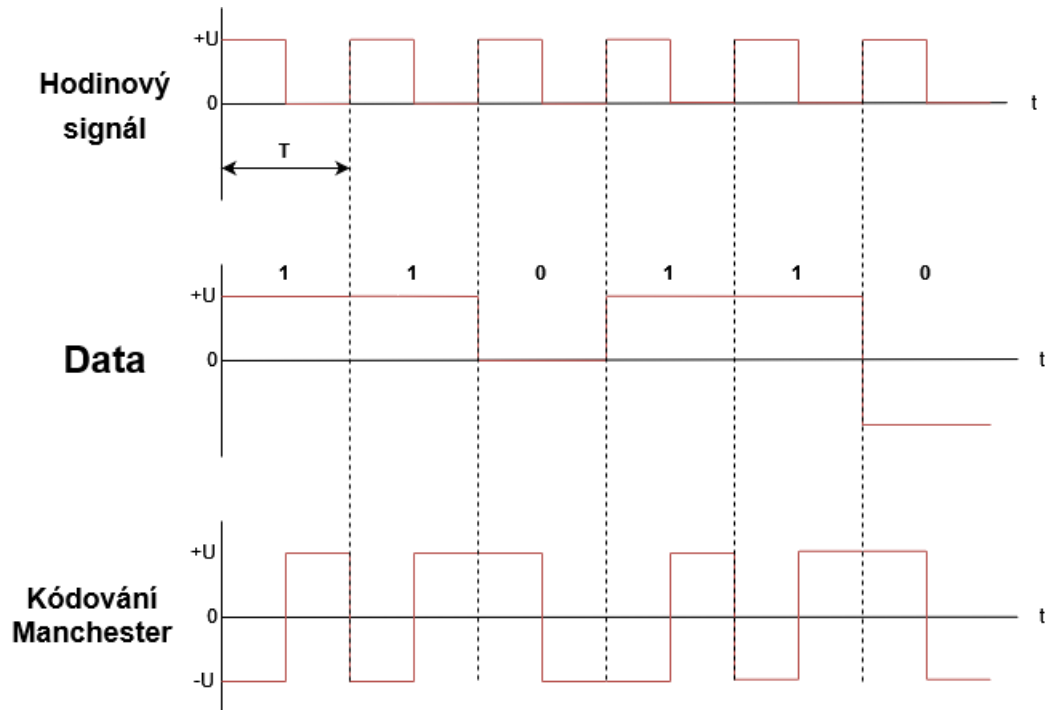
1.4 Komunikace mezi periferiemi

Na sběrnici může dojít k několika požadavkům na komunikaci, kde každá má jasně daný průběh. Průběh přenosu dat ve všech případech řídí BC, jednotlivá slova se pak rozdělují na **příkazové slovo** (nese informaci o nadcházející akci, inicializuje přenos), **datové slovo** (obsahuje přenášená data) a **stavové slovo** (nese informaci o stavu zařízení). Jejich podrobný popis je v oddílu 1.6.

Komunikace se neomezuje pouze na přenos dat, řadič sběrnice může například požádat vybraný terminál o synchronizaci časovače, zakázat další komunikaci nebo jej restartovat. Konkrétní příkazy jsou součástí **příkazového slova** v režimu *mode code* a jsou rozebrány v kapitole 1.6.1.

Všechny bity na sběrnici jsou přenášeny za pomoci tzv. **kódování Manchester**, což je speciální druh kódování, který rovněž používá např. *Ethernet* [10] a který umožňuje synchronní přenos bez nutnosti zavádět do sběrnice hodinový signál. Výsledný signál je totiž exkluzivním součtem datového a hodinového signálu, takže signál neustále mění svou napětovou úroveň i při konstantní logické hodnotě.

Kromě synchronního přenosu kódování umožňuje přenášet signál přes transformátory, čehož pak využívá fyzická vrstva. Nevýhodou je obecně nutnost daný signál dekódovat a také omezení použitelné šířky pásma dané přenosové linky na polovinu (bez kódování by bylo možné přenášet informaci dvojnásobnou rychlostí).



Obr. 1.2: Kódování Manchester – převzato z [1]

1.5 Fyzická vrstva

Nejnižší vrstva komunikace má ve standardu 1553B striktně definované požadavky. Vychází především ze skutečnosti, že signál je po lince přenášen v tzv. **direfenciální podobě**, což znamená, že log. 1 je reprezentována kladným napětím a log. 0 záporným napětím (oproti zemi). Výhodou je především větší odolnost vůči elektromagnetickému rušení (což je u leteckých systémů nezbytné). [6]

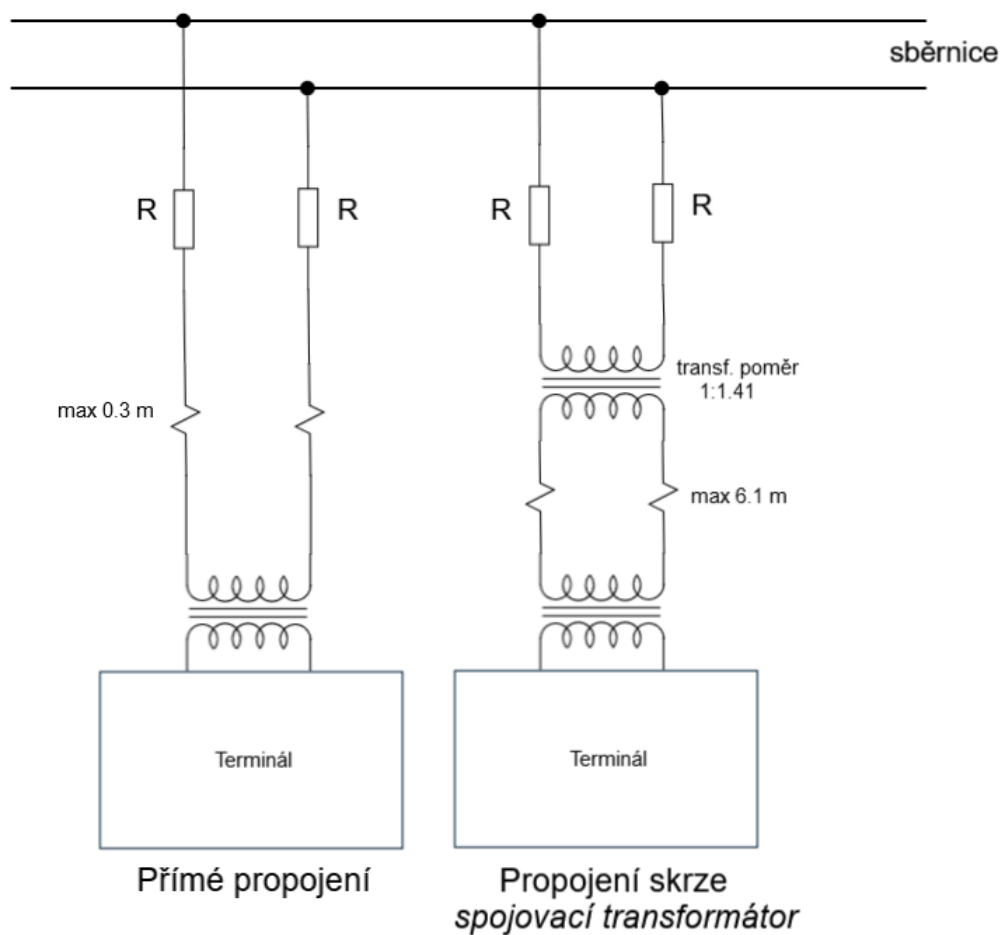
Nicméně periferie, které sběrnice MIL-STD-1553B používá, jsou uzpůsobeny pro signály se společnou a zemí, kde log. 0 je na potenciálu země. Pro převod mezi diferenciálním přenosem a přenosem se společnou zemí se dají použít speciální integrované obvody, které buď mohou být přímo součástí periferie, nebo na externím čipu. Jako příklad externího čipu lze uvést obvody HI-15690 a HI-1565 od firmy Holt Integrated Circuits [4].



Obr. 1.3: Ukázka převodu diferenciálního přenosu na nesymetrický

Kabely, které přenášejí signál po lince, by měly být realizovány pomocí **kroucené dvojlinky** a odstíněny proti rušení. Standard přímo definuje, že jejich kapacita nesmí přesahovat 30 pF na stopu (tedy přibližně 90 pF na metr) a jmenovitá impedance musí mít hodnotu od 70 do 85 Ω při frekvenci 1 MHz. Jmenovitý útlum pak nesmí při stejné frekvenci být větší než 5 dB na 100 m. Vodiče, které splňují dané požadavky a jsou přímo vyráběné pro implementaci sběrnice, nabízí firmy jako Digiquip nebo Connectivity Power Control.

Mezi přijímačem diferenciálního signálu a samotnou linkou jsou potřeba ještě **oddělovací transformátory**, které slouží nejen pro galvanické oddělení, ale hlavně pro impedanční přizpůsobení. Na lince je požadavek držet koncovou impedanci na hodnotě, kterou mají vodiče, periferie ale mají vysokou vstupní impedanci pro nízký příkon a lepší citlivost. Pokud by byla sběrnice připojena k periférii přímo, docházelo by k odrazu signálu a vzniku stojatých vln na vedení, což by způsobilo rušení a riziko poškození periférií. Standard uvádí možnosti **přímého** (*direct*) spojení skrze jeden transformátor a dva rezistory, případně pak spojení skrze další **spojovací** (*coupling*) transformátor, který snižuje rušení a je požadován v aplikacích, kde je velká vzdálenost mezi sběrnici a periférií.



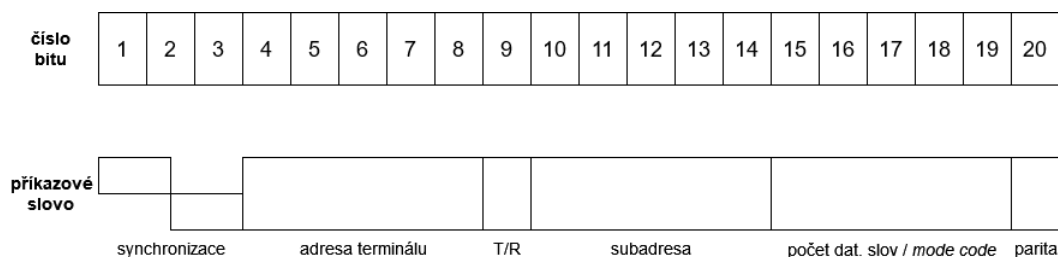
Obr. 1.4: Možné způsoby připojení terminálu ke sběrnici (upraveno z [1])

1.6 Formáty slov

Všechny informace jsou po sběrnici přenášeny ve formě zpráv, kde každá zpráva obsahuje slova s délkou 20 bitů. První tři bity vždy zabírá **synchronizační vlna**, která jako jediná není modulována kódováním Manchester. U příkazového a stavového slova začíná synchronizace v log. 1, u datového rámce v log. 0, což je záměrně pro odlišení přenosu dat.

Poslední bit je pak paritní (doporučená je lichá parita). Zbylých 16 bitů každé slovo využívá jiným způsobem a některé jsou dokonce ignorovány, protože nemají využití.

1.6.1 Příkazové slovo



Obr. 1.5: Význam jednotlivých bitů v příkazovém slově

1. **Adresa terminálu** – Zabírá 5 bitů, může tedy obsahovat číslo od 0 do 31. Adresu 11111 standard doporučuje nepoužívat jako unikátní adresu pro jeden terminál, ale pro tzv. *Broadcast message*, která je doručena všem terminálům na sběrnici.. To znamená, že sběrnice může mít až 31 terminálů.
2. **T/R** – Bit určující, zda bude terminál přijímat zprávu (log. 0) nebo vysílat (log. 1).
3. **Subadresa** – Určuje adresu subsystému daného terminálu. Komplexnější terminály mohou subsystémů obsahovat více, standard jich umožňuje mít až 30. Adresy 00000 a 11111 se pak používají jako signalizace terminálu, že následujících 5 bitů neurčuje délku zprávy, ale jeden z příkazů *Mode code*. První bit se dá optimálně použít pro rozlišení mezi **příkazovým** a **stavovým slovem** (viz 1.6.3), čímž dojde k redukci možných adres subsystémů na polovinu.
4. **Počet datových slov/mode code** – Při *Mode code* specifikuje daný příkaz. Jinak určuje délku přenášených dat (tedy počet **datových slov**), která může dosahovat hodnoty 31.

Mode code

Funkce **mode code**¹ přidává řadiči sběrnice širokou paletu možností, jak řídit přenos po sběrnici, od synchronizace časovačů v terminálech až po jejich reset. Všechny možné funkce jsou v tabulce 1.1. Jsou rozděleny jednak podle toho, zda při jejich realizaci dochází k přenosu dat (tj. v dané zprávě je přítomno datové slovo), a také zda je možné je použít pro režim *Broadcast*. Většina jich nenajde u jednodušších aplikací velké využití, proto jsou zde popsány jen ty nejdůležitější z nich. Podrobný popis všech funkcí lze nalézt v publikaci [1].

¹Termín je bez překladu

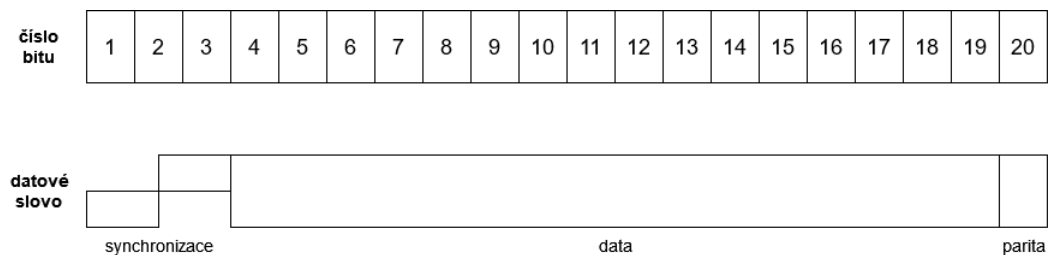
Tab. 1.1: Výpis funkcí režimu *mode code*

T/R bit	<i>Mode code</i>	Funkce	Přítomnost datového slova	Možnost použití <i>broadcast</i>
1	00000	Dynamické řízení sběrnice	Ne	Ne
1	00001	Synchronizace	Ne	Ano
1	00010	Odeslání stavového slova	Ne	Ne
1	00011	<i>"Initiate self-test"</i>	Ne	Ano
1	00100	<i>"Transmitter shutdown"</i>	Ne	Ano
1	00101	<i>"Override transmitter shutdown"</i>	Ne	Ano
1	00110	<i>"Inhibit terminal flag bit"</i>	Ne	Ano
1	00111	<i>"Override inhibit terminal flag bit"</i>	Ne	Ano
1	01000	Reset terminálu	Ne	Ano
1	01001	<i>"Reserved"</i>	Ne	-
1	01111	<i>"Reserved"</i>	Ne	-
1	10000	Přenos vektorového slova	Ano	Ne
0	10001	Synchronizace	Ano	Ano
1	10010	<i>"Transmit last command"</i>	Ano	Ne
1	10011	<i>"Transmit bit word"</i>	Ano	Ne
0	10100	<i>"Selected transmitter shutdown"</i>	Ano	Ano
0	10101	<i>"Override sel. transmitter shutdown"</i>	Ano	Ano
1/0	10110	<i>"Reserved"</i>	Ano	-
1/0	11111	<i>"Reserved"</i>	Ano	-

- **Dynamické řízení sběrnice** (angl. *Dynamic bus control*, zkratka *DBC*) – Příkaz, kterým řadič sběrnice žádá terminál o převzetí řízení sběrnice. Terminál (a celá aplikace) k tomu musí být pochopitelně přizpůsoben. Odpověď terminálu je v následovaném stavovém slově (viz 1.6.3).
- **Synchronizace** – Požadavek na synchronizaci terminálu, tj. resetování vnitřního časovače. Požadavek může být následován datovým slovem (při 10001 je následován, při 00001 nikoliv), který může specifikovat další konfiguraci terminálu. O jakou konfiguraci se jedná a jak je bitově reprezentována, zůstává na návrháři. V obou případech je odpovědí terminálu stavové slovo.
- **Odeslání stavového slova** (angl. *Transmit status word*) – Příkaz pro zaslání stavového slova, který se týká posledního příkazového slova, jenž terminál obdržel.
- **Reset terminálu** (angl. *Reset remote terminal*) – Okamžitý reset terminálu. Terminál před resetem odešle stavové slovo o momentálním stavu.

- **Odeslání vektorového slova** (angl. *Transmit vector word*) – Způsobí zaslání stavového slova daného terminálu, následovaného datovým slovem, kde je specifikována porucha, kterou terminál má. Jedná se o reakci na obdržení předchozího stavového slova, ve kterém byl Service request bit v log. 1.

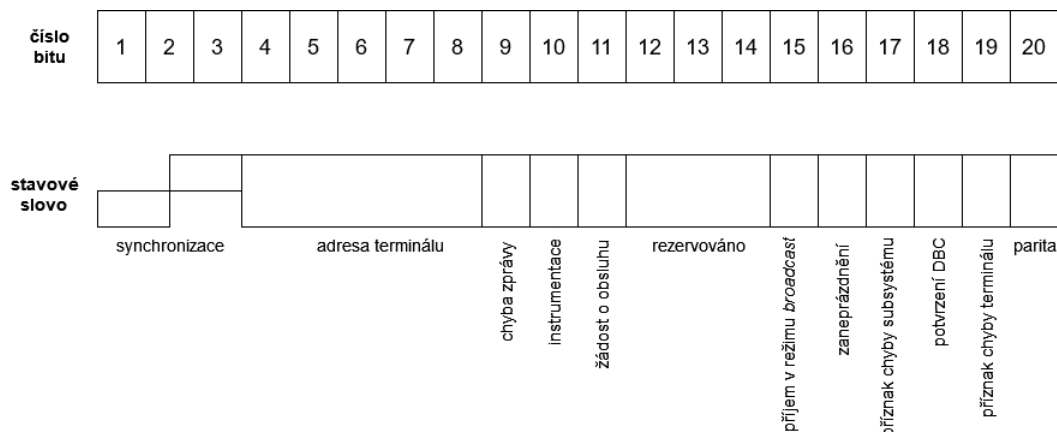
1.6.2 Datové slovo



Obr. 1.6: Význam jednotlivých bitů v datovém slově

1. **Data** – Jedno datové slovo může mít maximálně 16 bitů, které reprezentují přenášenou informaci mezi periferiemi. Právě tyto bity terminál dekoduje a předá systému, který jej obsluhuje.

1.6.3 Stavové slovo



Obr. 1.7: Význam jednotlivých bitů ve stavovém slově

1. **Adresa terminálu** – Adresa koncového terminálu (viz 1.6.1).
2. **Chyba zprávy** – Při log. 1 signalizuje chybný přenos jednoho nebo více datových rámců. Přenos je považován za chybný, jestliže:

- (a) Nebyla splněna kontrola parity
 - (b) Přenos nezačal synchronizačním impulzem
 - (c) Data nebyla přenášena kódováním Manchester (případně forma byla chybná)
3. **Instrumentace** (*volitelné*) – Umožňuje odlišení příkazového a stavového slova tím, že u stavového je vždy v log. 0 (u příkazového je pak v log. 1). Je na návrháři, zda této možnosti využije. Pokud ne, je tento bit jednoduše ignorován.
 4. **Žádost o obsluhu** (*volitelné*) – Bit, kterým může terminál signalizovat řadiči sběrnice, že něco není v pořádku. Ten by na to měl reagovat a pomocí *mode code* (Transmit vector word) zjistit, o co se konkrétně jedná. Použití tohoto bitu je volitelné a není-li využit, měl by být v log. 0.
 5. **Rezervováno** – 3 bity, které v současné verzi standardu nemají využití a měly by zůstat v log. 0.
 6. **Příjem v režimu *broadcast*** – Nabývá log. 1, pokud bylo předchozí slovo odesláno všem terminálům (byl využit režim *broadcast*)
 7. **Zaneprázdnění** (*volitelné*) – Nabývá log. 1, jestliže terminál momentálně není schopen doručit data z/do subsystému. Řadič sběrnice by na to měl adekvátně reagovat a zvážit například další akce. Není-li tato funkce implementována, bit je vždy v log. 0.
 8. **Příznak chyby subsystému** (*volitelné*) – Signalizuje (log. 1) možnou chybu na straně subsystému, čímž dává řadiči sběrnice informaci, že data mohou být chybná. Při nevyužití je vždy v log. 0.
 9. **Potvrzení DBC** (*volitelné*) – Odpověď terminálu na požadavek řadiče sběrnice o dynamické řízení sběrnice. Je-li v log. 1, terminál požadavek přijímá a stává se novým řadičem (viz 1.6.1).
 10. **Příznak chyby terminálu** (*volitelné*) – Signalizuje (log. 1) možnou chybu na straně terminálu. při nevyužití je vždy v log. 0.

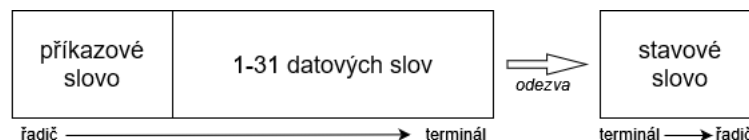
1.7 Řízení přenosu po sběrnici

Komunikace na sběrnici probíhá formou zpráv o přesně určeném formátu a pořadí jednotlivých slov. Ve všech případech ji iniciuje řadič sběrnice, nemůže se tedy stát, že by terminál zahájil odesílání dat sám od sebe. Mezi jednotlivými zprávami je nutné dodržovat **časový interval** (angl. *intermessage gap*), který standard uvádí na $4\ \mu s$.

Terminály mají rovněž určenou dobu **dobu odezvy** (angl. *response time*), která je mezi 4 a $12\ \mu s$. Řadič sběrnice ji měří od poloviny posledního odeslaného bitu do poloviny prvního přijatého bitu.

1.7.1 Přenos dat z BC do RT

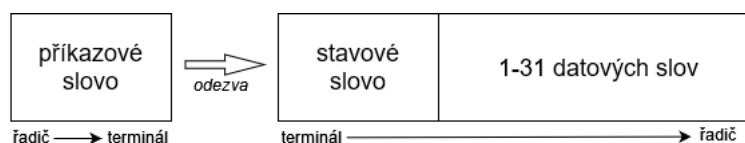
Řadič sběrnice zahájí komunikaci příkazovým slovem, kde specifikuje vybraný terminál a nastaví jej pro příjem dat. Následují datová slova. Po obdržení všech slov terminál pošle stavové slovo s informací o možných chybách.



Obr. 1.8: Struktura zprávy při přenosu dat z řadiče sběrnice do terminálu

1.7.2 Přenos dat z RT do BC

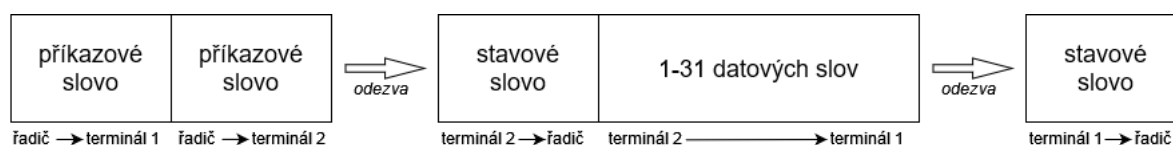
Řadič sběrnice zahájí komunikaci příkazovým slovem, kde specifikuje vybraný terminál a nastaví jej pro odesílání dat. Terminál odpoví stavovým slovem a odpovídajícím počtem datových slov.



Obr. 1.9: Struktura zprávy při přenosu dat z terminálu do řadiče sběrnice

1.7.3 Přenos dat z RT do RT

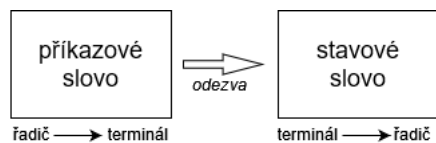
Řadič sběrnice nejprve nastaví příkazovými slovy terminál 1 pro příjem dat a terminál 2 pro odeslání dat. Terminál 2 zašle do řadiče stavové slovo a datovým slovem pak přenesou data do terminálu 1. Ten po přijetí všech dat pošle řadiči stavové slovo.



Obr. 1.10: Struktura zprávy při přenosu dat z terminálu 2 do terminálu 1

1.7.4 Mode code bez dat

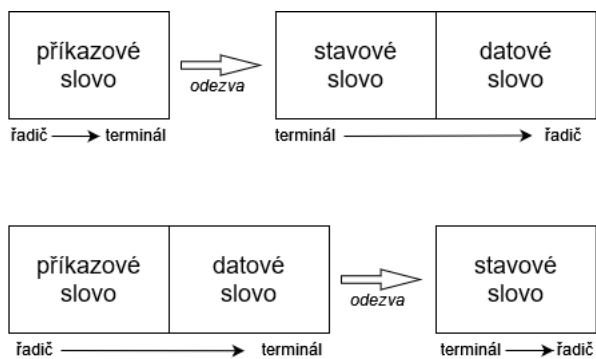
Pokud řadič při použití režimu *mode code* neoperuje s daty, zasílá do terminálu pouze příkazové slovo, na které terminál odpovídá stavovým slovem.



Obr. 1.11: Struktura zprávy při použití režimu mode code bez přenosu dat

1.7.5 Mode code následovaný daty

Je-li v režimu *mode code* přítomno datové slovo, může být buď přenášen z řadiče do terminálu, nebo být součástí odpovědi terminálu na daný příkaz.



Obr. 1.12: Struktura zprávy při použití režimu mode code s přenosem dat

1.7.6 Broadcast

Režim *Broadcast* ² lze použít zaslání zprávy všem terminálům na sběrnici. Řadič sběrnice jej aktivuje tak, že jako adresu terminálu v příkazovém slově použije bitovou hodnotu 11111. Komunikace má pak stejný průběh jako v předešlých případech.

Při přenosu dat z terminálu 2 do terminálu 1 je příkazové slovo s adresou 11111 zasláno terminálu 1, terminál 2 pak obdrží instrukci, že má poslat data (která obdrží všechny ostatní terminály).

Mode code má *broadcast* povolen jen v určitých případech (viz tabulka 1.1).

²Termín není překládán, protože čeština neobsahuje vhodný ekvivalent

2 Standard ECSS-E-ST-50-13C

2.1 Základní popis

Protože sběrnice našla své využití i ve vesmírných technologiích, byl v roce 2008 vydán standard ECSS-E-ST-50-13C, který do velké míry shrnuje originální standard (a často se na něj odkazuje), nabízí ale rovněž praktické tipy pro návrh periferií, konkretizaci fyzické vrstvy s ohledem na moderní technologie a především pak přichází s tzv. **službami** (angl. *services*), kterými nabízí modernější řízení sběrnice. [8] Zároveň se zmíněný standard daleko více věnuje i subsystémům, které obsluhují periferie sběrnice, např. pro ně definuje názvy příkazů, které periferiím posílají, a obecně popisuje komunikaci na vyšší komunikační vrstvě.

2.2 Služby

Implementace a použití služeb nevyžaduje žádné změny v hardwarovém návrhu, z pohledu komunikace se jedná spíš o doporučené použití utilit, které sběrnice již obsahuje. Je nutno dodat, že služby nejsou nezávislé na sobě a **služba synchronizace komunikace** je potřebná pro všechny ostatní.

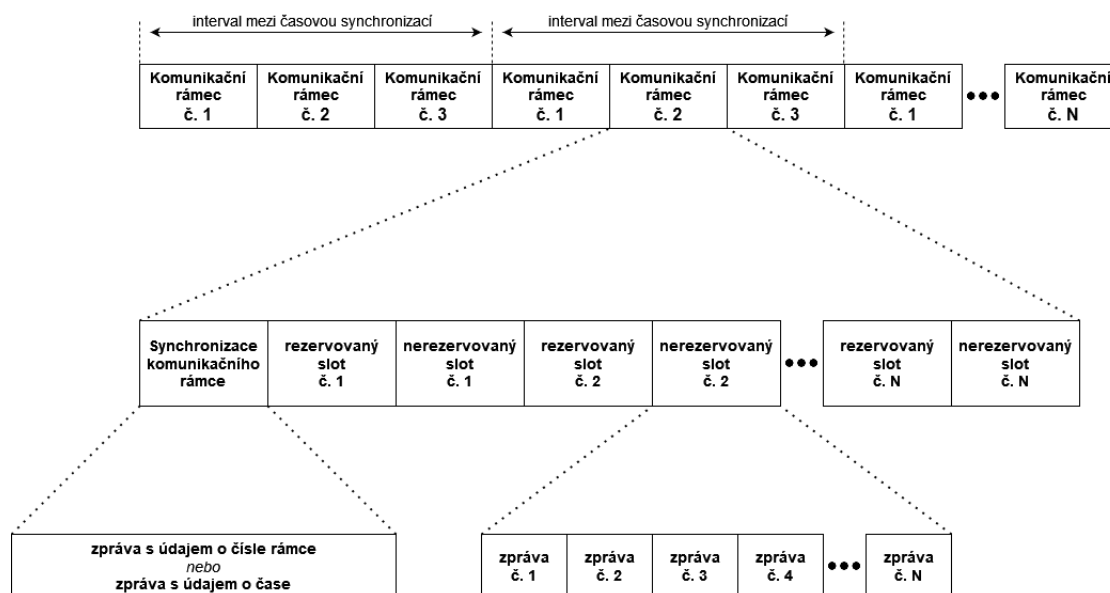
2.2.1 Služba synchronizace komunikace ¹

Rozděluje komunikaci na tzv. **komunikační rámce**, kde u každého rámce je předem určeno, jakou ponese informaci. Na začátku každého rámce je použito příkazové slovo v režimu mode code (viz 1.6.1) s datovým slovem, který specifikuje číslo daného komunikačního rámce. Následuje série **rezervovaných** (angl. *populated*) a **nerezervovaných** (angl. *unpopulated*) slotů (angl. *content*), které mohou obsahovat zprávy. Rezervované sloty jsou vyhrazeny pro závažné okolnosti, které musí být ošetřeny co nejdříve. Nerezervované pak může řadič sběrnice použít pro zahájení komunikace (která není "závažná"). Pokud chce tedy odeslat více zpráv za sebou, musí pokaždé počkat, až bude volný nerezervovaný slot.

Na obrázku 2.1 je odkryta struktura komunikačních rámců. Pokud je zároveň použita **služba času**, každý první komunikační rámec neobsahuje číslo rámce, ale údaje k synchronizaci času.

Počet rámců, slotů a zpráv v příslušných blocích komunikace není pevně stanoven a je určen konkrétní aplikací.

¹Anglický termín: *Communication synchronize service*

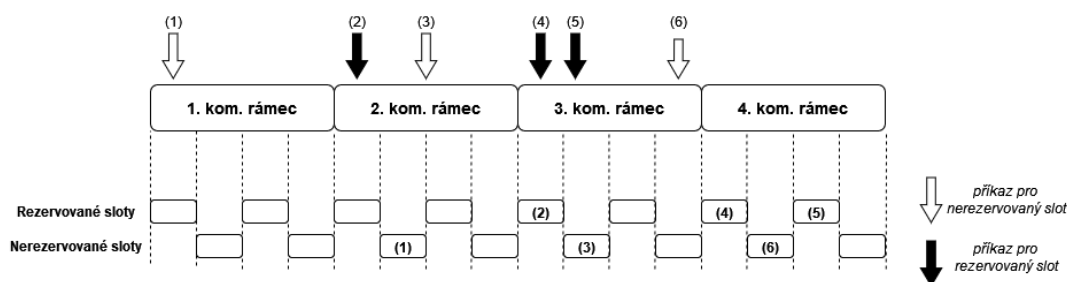


Obr. 2.1: Struktura komunikačního rámce při použití služby času

Pravidla obsazování slotů zprávami

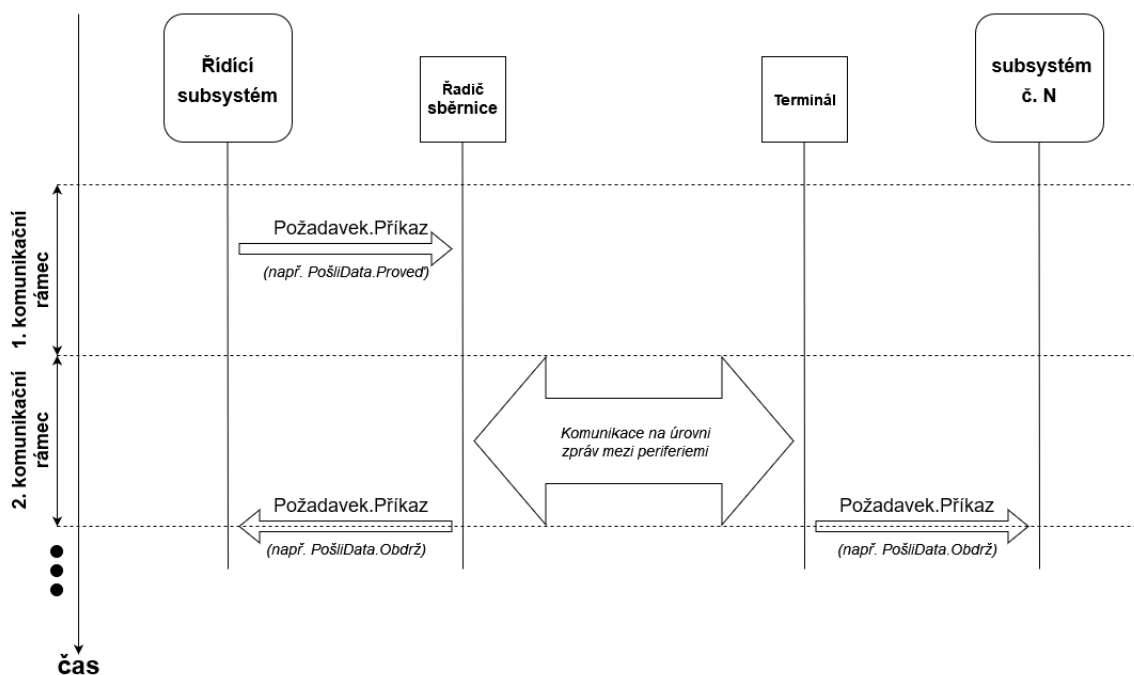
Obsazování slotů ovládá řídicí subsystém (řadič sběrnice). Jejich provedení je vždy až v následujícím komunikačním rámci, ve kterém jsou zprávy odeslány v příslušných slotech.

Komunikace mezi subsystémem a periferií probíhá za pomoci **příkazů** "Proved" (angl. *Submit*) a "Obdrž" (angl. *Deliver*) a **požadavkem**, který je unikátní pro každou službu.



Obr. 2.2: Obsazování volných slotů v komunikačních rámcích

"Proved" signalizuje subsystému, aby v dalším komunikačním rámci odeslal zprávu v příslušných slotech. Konkrétní podoba zprávy (tj. jaké sloty obsadí a jak bude



Obr. 2.3: Ukázka možné komunikace mezi subsystémy a periferiemi

dlouhá) je určena konkrétním požadavkem.

Na obrázku 2.3 je vzorová struktura komunikace na úrovni subsystémů. Subsystém vznesle **Požadavek** a konkrétní **příkaz**, řadič jej zaznamená a čeká, až bude volný komunikační rámec. Zatímco komunikace mezi periferiemi je řízena komunikačními rámci, subsystém může periférii kontaktovat kdykoliv (a naopak).

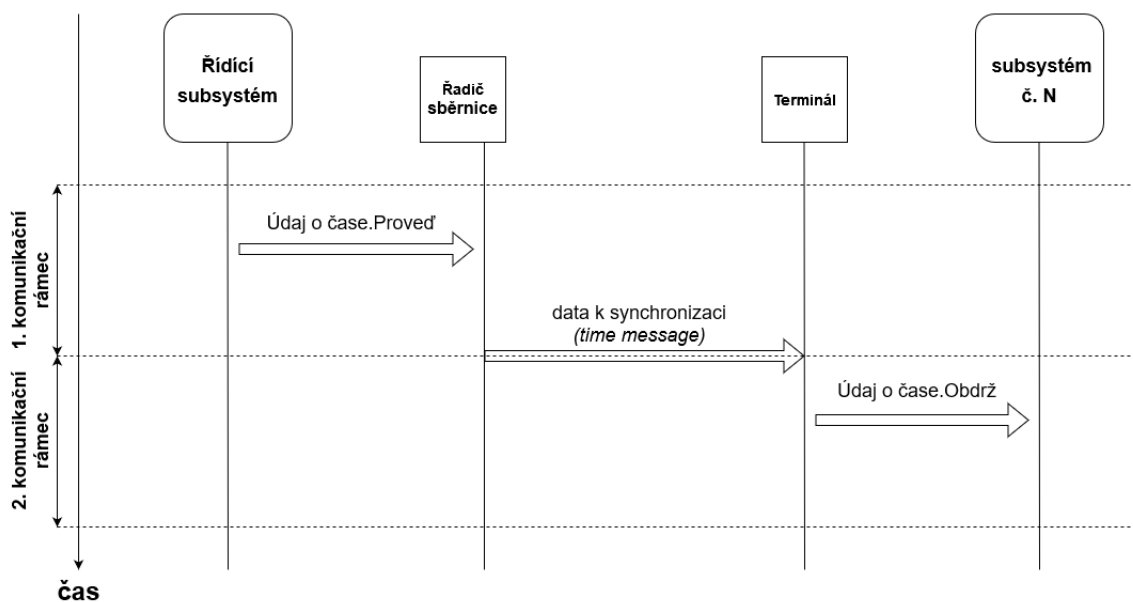
2.2.2 Služba času ²

Je-li použita, řadič sběrnice periodicky každých několik komunikačních rámců (počet závisí na návrhu) posílá na začátku rámce v režimu *broadcast* požadavek k synchronizaci vnitřního časovače (viz 1.6.1 – Synchronizace).

Samotná synchronizace může probíhat dvěma způsoby:

1. Řadič vyšle zprávu, která obsahuje data k synchronizaci. (tzv. *Time message* Terminál zprávu přijímá a rovnou s daty operuje (tj. považuje daný čas za validní).
Výhodou je jednoduchost, nevýhodou pak nepřesnost, která roste s délkou údaje o čase.
2. Řadič vyšle zprávu, která obsahuje data k synchronizaci. (*Time message*) Terminál zprávu přijímá, ale nepracuje s daty, dokud nedostane další povel (tzv. *Time synchronization message*). Ten je obvykle vyslán po oddělené lince.

²Anglický termín: *time service*



Obr. 2.4: Průběh časové synchronizace za využití **služby času** na úrovni subsystémů

Výhodou je přesnější synchronizace (a odstranění nepřesností u delších údajů o čase), nevýhodou komplexnost a vyšší nároky na linku.

Na úrovni subsystémů je pak komunikace s periferiemi řízena *požadavky údaj o čase* (angl. *TimeData*) a **synchronizace času** (angl. *TimeSynchronise*).

2.2.3 Služba přenosu dat ³

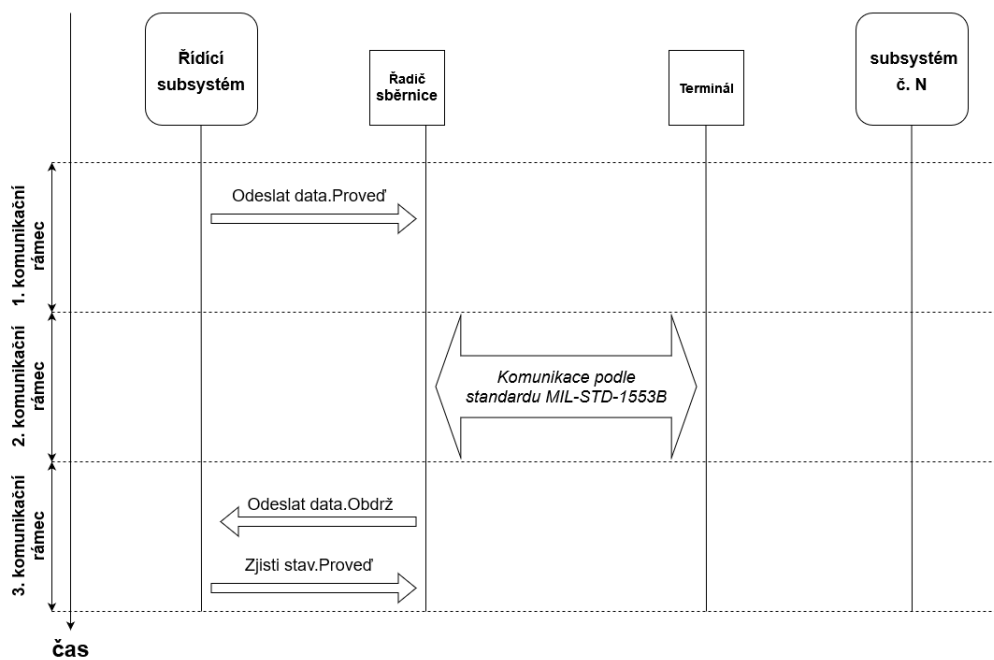
Představuje jednodušší variantu řízení komunikace na sběrnici.

Pro zahájení přenosu dat používá subsystém *požadavky odeslat data* (angl. *SendData*) a **přijmi data** (angl. *ReceiveData*).

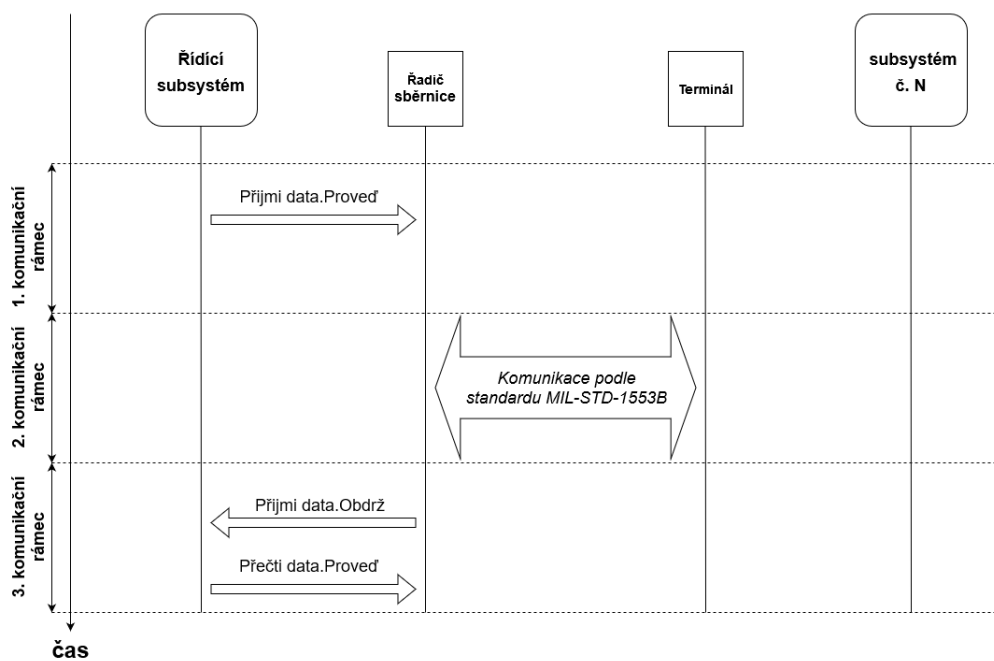
Po přenosu pak může v případě odesílání dat za pomoci *požadavku Zjistí stav* vyžádat od terminálu informace o přenosu (a zjistit například možné chyby). V případě přijímání dat si řídicí subsystém vyžádá data od řadiče *požadavkem Přečti data* (angl. *ReadData*).

Průběh provedení služby je na obrázcích 2.2.3 a 2.2.3. Komunikace podle standardu MIL-STD-1553B probíhá v komunikačních rámcích. Podle toho, zda přenos využívá *rezervované* nebo *nerезervované* sloty rozděluje standard službu na **typ 1** a **typ 2**. Výhodou této služby je jednoduchost a nízké požadavky na terminál a řadič sběrnice, nevýhodou pak skutečnost, že délka zprávy je pevně daná při návrhu hardwaru a při potřebě přenášet větší množství dat je potřeba **požadavek** opakovat.

³Zahrnuje dvě služby, označované ve standardu ECSS-E-ST-50-13C jako *Set Data* a *Get Data service*)



Obr. 2.5: Průběh komunikace při odesílání dat pomocí služby přenosu dat



Obr. 2.6: Průběh komunikace při příjmu dat pomocí služby přenosu dat

2.2.4 Služba toku datových bloků ⁴

U komplexnějších systémů, kde je vyžadována vysoká spolehlivost, organizace a možnost přenášet velké množství dat, najde uplatnění *služba toku datových bloků*. Ta podporuje rozdílnou délku dat, *handshake* (potvrzení zprávy o přijetí) a více možností, jak komunikaci přizpůsobit konkrétní potřebě.

Požadavky pro řízení komunikace se stejně jako u **služby přenosu dat** nazývají **Odeslat data** a **Přijmi Data**. Standard požaduje, aby před každým zahájením komunikace došlo k resetování periferie, k čemuž slouží požadavek **Reset**.

Velikost jednoho datového bloku závisí na způsobu využití subadres, které jsou součástí **Deskripce datového bloku**.

1. **adresování typu *flat*** – 2 bity z prostoru pro subadresu jsou použity pro rozlišení různých částí datového bloku. Délka zprávy pak nemůže být delší než 1024 bajtů.
2. **adresování typu *deep*** – Celý datový blok je přenášen jednou subadresou, takže zpráva může dosahovat délky 4096 bajtů.

Služba umožňuje použít dva způsoby přenosu, tzv. *Quality of service* (zkr. *QoS*) ⁵

1. ***Best effort*** – Datové toky jsou přenášeny za sebou (v souladu s komunikačními rámci), aniž by periferie potvrzovala přijetí dat.
2. ***Verified Length*** – Za každým datovým blokem následuje **Potvrzení přenosu datového bloku**.

Odesílání dat

Přenos dat z řadiče do terminálu probíhá pomocí následujících zpráv:

- **Přenos datového bloku** (zkr. DDB) – (angl. *Distribution Data Block*) Obsahuje pouze přenášená data, která mohou mít velikost od 1 do 1024 (nebo 4096 v případě adresování **deep**).
- **Deskripce datového bloku** (zkr. DTD) – (angl. *Distribution Transfer Descriptor*) Nese informaci o následujícím přenášeném bloku a zároveň jej lze použít pro reset (při zahájení komunikace). Je více rozebrán v příloze B.3.
- **Potvrzení přenosu datového bloku** (zkr. DTC) – (angl. *Distribution Transfer Confirmation*) Odeslán terminálem po každém přijetí datového bloku (pokud je jako *QoS* použit *Verified Length*) (viz B.4).

Komunikace mezi subsystémy je iniciována požadavkem **Reset**, který v dalším komunikačním rámci následuje **Odeslat data**. Reset způsobí odeslání DTD s příkazem k resetování terminálu, požadavek **Odeslat data** invokuje přenos DTD a DDB. Na obdržení a zpracování dat má terminál jeden celý komunikační rámec. Pokud je

⁴Anglický termín: *Data block transfer service*

⁵Protože *Quality of Service* je v telekomunikaci zaběhlý pojem, je termín ponechán bez překladu

Quality of service typu *Verified Length*, další rámeček odešle terminál řadiči DTC a až v následujícím je připraven přijmout další datový blok; v případě *Best effort* může místo odesílání DTC rovnou přijmout datový blok.

Přijímání dat

Přenos dat z terminálu do řadiče probíhá pomocí následujících zpráv:

- **Příjem datového bloku** (zkr. ADB) – (angl. *Acquisition Data Block*) Obsahuje pouze přenášená data, která mohou mít velikost od 1 do 1024 (nebo 4096 v případě adresování **deep**).
- **Žádost o příjem** (zkr. ATR) – (angl. *Acquisition Transfer Request*) Zpráva, kterou terminál zahajuje přenos signalizuje řadiči, že má data k odeslání (řadič pravidelně kontroluje každý terminál, zda nechce zahájit přenos). Obsahuje velikost dat a další informace o tom, jak má komunikace probíhat. (viz B.5)
- **Potvrzení příjmu** (zkr. ATC) – (angl. *Acquisition Transfer confirmation*) Odeslána řadičem poté, co obdrží všechna data z terminálu. Terminál nemůže poslat další zprávu, dokud neobdrží ATC – forma *handshake*. (viz B.6)

Protože terminál nemůže sám od sebe zahájit přenos dat, řadič v každém komunikačním rámci kontroluje, zda má určený terminál data k odeslání. Pokud ano, odešle terminál řadiči zprávu **Žádost o příjem** a ve druhém následujícím komunikačním rámci je přenos realizován (zpráva **Příjem datového bloku**) a zakončen zprávou **Potvrzení příjmu**. Při **Best effort** je zpráva s daty přijata každý 3. komunikační rámeček, u **Verified length** každý pátý.

Přijímání a odesílání dat je ilustracemi popsáno v příloze B.1.

3 Návrh architektury terminálu

3.1 Základní požadavky

Návrh architektury terminálu podle standardu MIL-STD-1553B je závislý na požadavcích, které jsou kladeny na aplikaci. V rámci této práce je požadavkem především:

- Správné dekodování signálu
- Zpracování přijatých dat a jejich předání subsystému
- Detekce a určení chyb, které nastaly při přenosu
- Odeslání dat do sběrnice podle pravidel komunikace

Dále musí být terminál připraven přijmout zprávy v režimu *Mode code* (viz 1.6.1). V rámci zjednodušení pouze signalizuje subsystému, o jaký příkaz se jedná (v odpovídající bitové podobě). Jedinou výjimku tvoří *Mode code Synchronizace*, který je zároveň proveden přímo v terminálu.

Dále je potřeba zajistit, aby terminál dodržoval **dobu odezvy**, **interval mezi zprávami** a **frekvenci signálu na sběrnici**, což vychází přímo ze standardu. Konkrétní hodnoty obsahuje tabulka 3.1.

Tab. 3.1: Požadavky na časování terminálu

frekvence signálu [MHz]	1
dobu odezvy RT [μ s]	4–12
časový interval mezi zprávami [μ s]	4

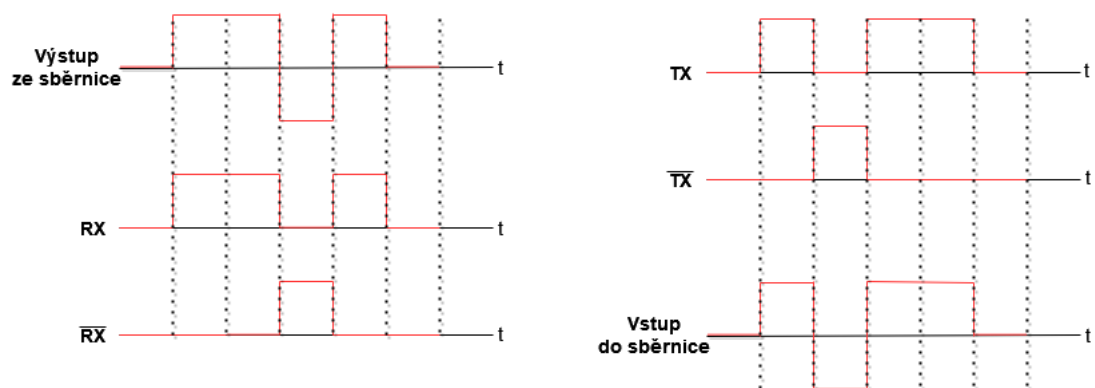
Implementace architektury bude provedena do FPGA obvodu Spartan3 od firmy Xilinx. Jako **pracovní frekvenci volím 32 MHz**.

3.2 Fyzická vrstva

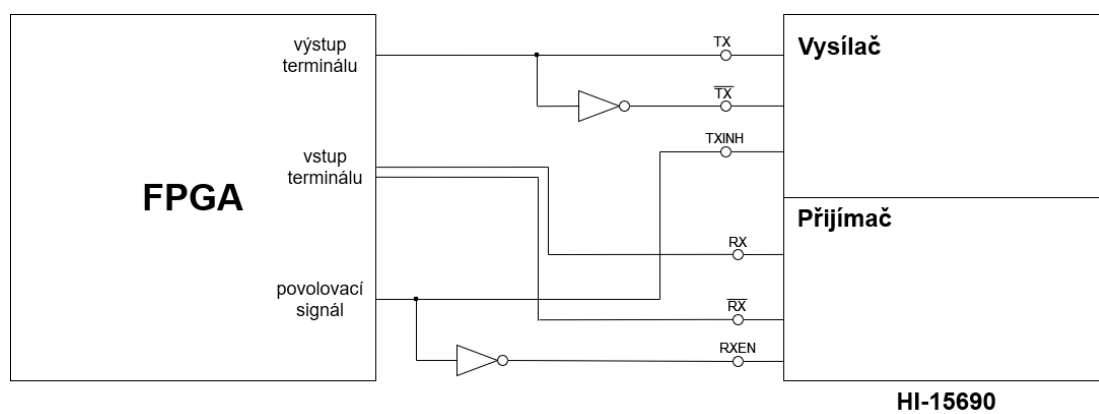
Mezi sběrnici a obvodem FPGA je přítomen pomocný obvod, který zpracovává symetrický signál a převádí jej na nesymetrický. Pro mou aplikaci jsem zvolil obvod HI-15690 od firmy Holt Integrated circuits. Vnitřní struktura obvodu je v příloze na obrázku C.

Když je signál ze sběrnice v kladné polaritě, vývod RX je v log. 1; při záporné polaritě je naopak \overline{RX} v log. 1. Je-li sběrnice na potenciálu země (neprobíhá přenos), oba vývody jsou v log. 0. Vývod RXEN slouží pro povolení přenosu.

Pro vysílání do sběrnice používá terminál svorky TX (pro kladnou polaritu) a \overline{TX} (pro zápornou polaritu). TXINH je opět použit pro povolení přenosu.



Obr. 3.1: Průběh signálu na vývodech obvodu HI-15690 při přijímání dat a odesílání dat



Obr. 3.2: Propojení mezi FPGA a obvodem HI-15690

Na obrázku 3.2 je naznačeno, jak může vypadat propojení mezi obvodem FPGA a pomocným obvodem HI-15690. Výstup terminálu je připojen přímo na vývod TX a s bitovou negací na vývod $\overline{\text{TX}}$, díky čemuž je zapotřebí jediný výstup. Vstup do terminálu už tak jednoduše ošetřit nejde, obvod FPGA musí zpracovávat oba vývody RX a $\overline{\text{RX}}$. Povolovací signál je výstupem stavového automatu, který určuje, zda terminál vysílá (log. 1) nebo přijímá data (log. 0).

3.3 Vnitřní struktura

Standard MIL-STD-1553B nezmiňuje žádnou doporučenou architekturu terminálu (ani jiných periférií), provedení je tedy čistě na návrháři. Některé publikace, které se sběrnici zabývají, obsahují hrubý náčrt architektury; některé z nich jsou uvedeny v příloze A.

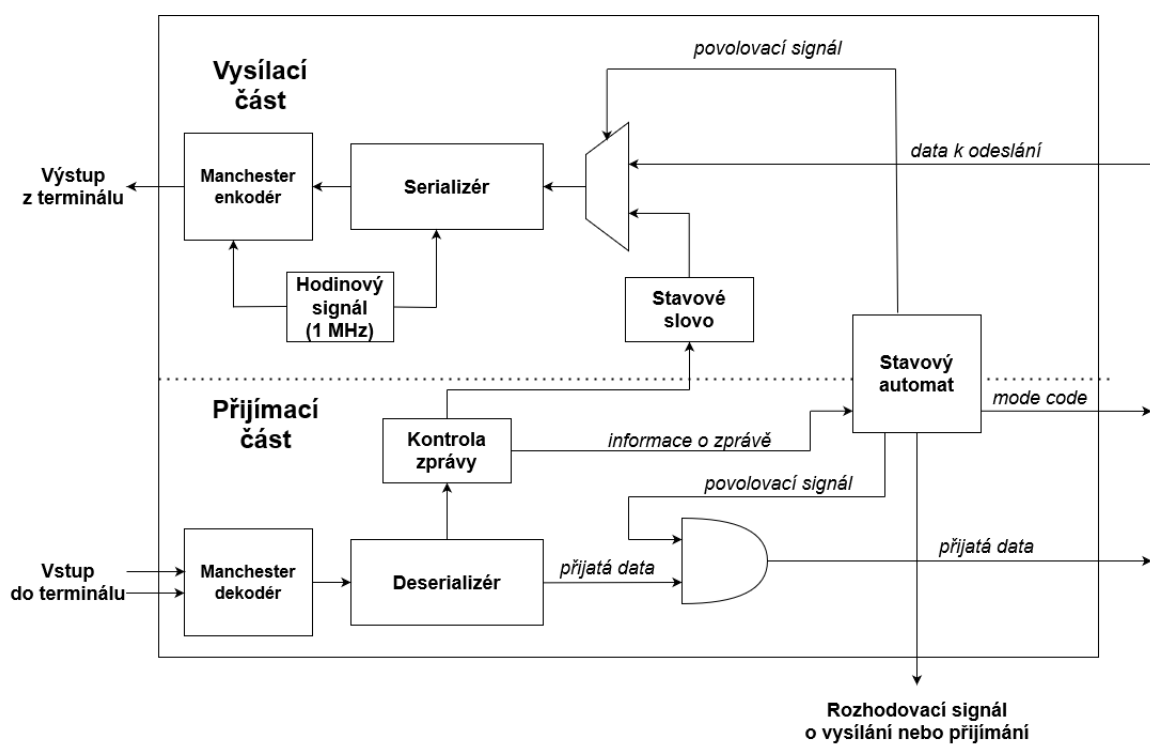
V rámci semestrální práce jsem pak navrhl vlastní architekturu, která je na obrázku 3.3.

Architektura obsahuje **vysílací** a **přijímací** část. Protože vysílání a příjem dat nesmí probíhat zároveň, je ve struktuře použit **stavový automat**, který má jasně definované, ve kterých stavech terminál vysílá (tj. rozhodovací signál je v log. 1) a kdy přijímá (což je výchozí mód). Různé stavy pak zároveň určují, jaké **slovo** je zpracováváno, podle čehož jsou signály instruovány ostatní moduly.

Manchester enkodér a dekodér musí oba kromě své hlavní funkce umět zpracovat *synchronizační signál*, který je součástí každého slova. Enkódování je realizováno exkluzivním součinem hodinového a datového signálu (viz 1.4). Dekódování je složitější proces a u moderních systémů se řeší častěji na úrovni firmware [9]. Hardwarové metody jsou založeny buď na detekci hran, nebo na měření logické hodnoty ve $3/4$ periody.

Serializér a **Deserializér** pracují jen se 17bitovou zprávou (bez synchronizační vlny). Serializér využívá hodinový signál ze samostatného bloku a jako bity k odeslání bere buď **stavové slovo**, nebo **data**, která jsou přijata externě. Deserializér shromažďuje přijatá data ze sběrnice a pokud se jedná o datové slovo, posílá je dál do subsystému.

Blok **kontrola zprávy** vyhodnotí dané slovo, určí chyby (ty pak pošle do **stavového slova**) a informuje stavový automat o obsahu.



Obr. 3.3: Návrh architektury terminálu pro bakalářskou práci

Závěr

Pro úplný a přehledný popis sběrnice byl v první řadě použit manuál ([1]), doplněný o zajímavosti a poznatky z dalších publikací, které se sběrnici zabývají nebo se na ni odkazují. Jelikož je veškerá použitá literatura v angličtině, termíny jsou pro ucelenost práce překládány do českých ekvivalentů.

První kapitola přibližuje hierarchii zařízení ve sběrnici, zmiňuje nároky na fyzickou vrstvu a objasňuje podobu zpráv a slov, pomocí kterých probíhá komunikace ve sběrnici. Slova ve sběrnici jsou tři (datové, příkazové a stavové) a každé obsahuje 20 bitů (včetně synchronizační vlny); zprávy pak určují pořadí slov při konkrétním požadavku (směr/účel) na komunikaci. Zprávy mají celkem 5 různých podob (viz 1.7).

Druhá kapitola se věnuje standardu ECSS-E-ST-50-13C, který vyšel v roce 2008 pro vesmírné aplikace a zaměřuje se na komunikaci mezi subsystémy a periferiemi sběrnice. Přináší tzv. služby, které umožňují modernější a ucelenější řízení. Komunikace probíhá pouze v rámci komunikačních rámců o předem dané délce, které jsou očíslované a segmentované.

V poslední kapitole je za pomoci poznatků z předchozích dvou kapitol naznačena podoba architektury a jsou definovány požadavky, které musí splňovat. V rámci bakalářské práce bude architektura popsána v jazyce VHDL a verifikována vzhledem ke zmíněným požadavkům.

Implementace architektury bude provedena na obvodu Spartan3, což je FPGA obvod firmy Xilinx.

Literatura

- [1] Review and rationale of mil-std-1553 a and b, 1978. URL: <https://www.milstd1553.com/wp-content/uploads/2012/12/MIL-STD-1553B.pdf>.
- [2] Open systems avionics network to replace mil-std-1553. In *19th DASC. 19th Digital Avionics Systems Conference*, page 4E5/1–4E5/6. IEEE, Philadelphia, PA, USA, 1 edition, 2000.
- [3] Mil-std-1553b vs mil-std-1553c. *Electra IC: Design & Verification*, 2018.
- [4] Hi-15690, 2021. URL: <http://www.holtic.com/products/3157-hi-15690.aspx>.
- [5] Chris Delong. Mil-std-1553b digital time division command/response multiplex data bus. In *Industrial Communication Technology Handbook, Second Edition*, pages 1–43. CRC Press, San Francisco, California, USA, 2nd edition edition, 2017.
- [6] Jakub Drbal. Implementace rychlých sériových sběrnic v obvodech fpga. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2014.
- [7] Leroy Earhart. Mil-std-1553. *TEST SYSTEMS, Inc.*
- [8] ECSS. Space engineering. 11 2008. URL: <https://www.milstd1553.com/wp-content/uploads/2012/12/MIL-STD-1553B.pdf>.
- [9] Robert Keim. How to decode manchester-encoded data using hardware. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-decode-manchester-encoded-data-using-hardware/>.
- [10] Miloš Kutílek. Přenos informací po síti ethernet. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2013.
- [11] Enumala Srikrishna, L Madan Mohan, and A Mallikarjuna Prasad. Development of mil-std-1553b synthesizable ip core for avionic applications. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 8(5):486, 2011. URL: <https://www.ijcsi.org/papers/IJCSI-8-5-3-488-491.pdf>.
- [12] Orly Stan, Adi Cohen, Yuval Elovici, and Asaf Shabtai. On the security of mil-std-1553 communication bus. *Security and Safety Interplay of Intelligent Software Systems*, pages 153–171.
- [13] Duncan Young and John Wemekamp. Mil-std-1553 alternatives look to knock off the king. *Electronic Design*, 45(20):162–163, 1997.

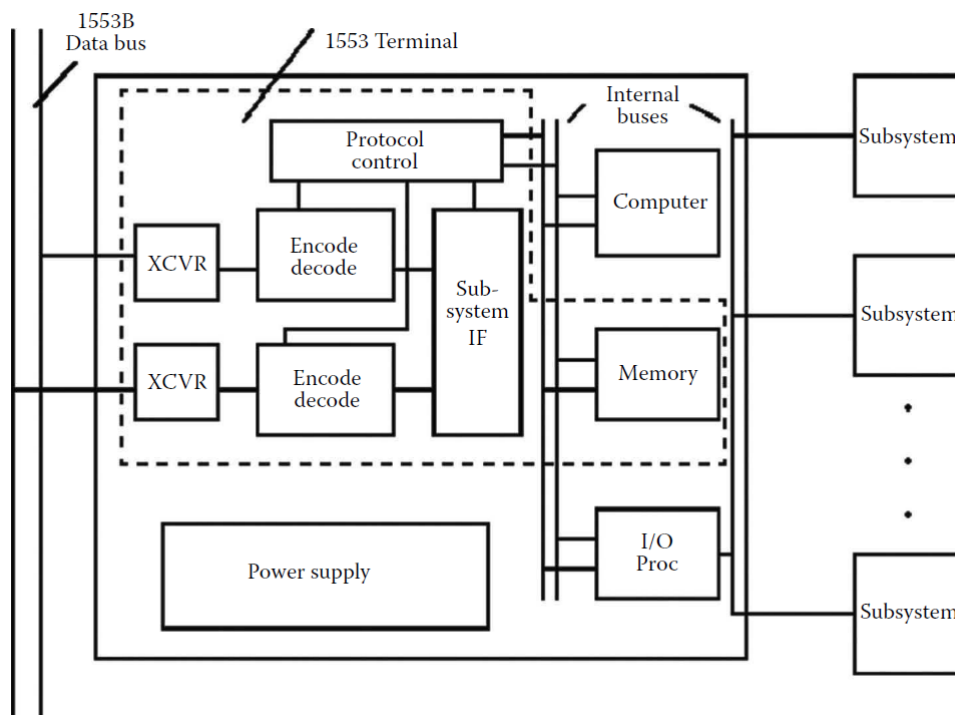
Seznam symbolů a zkratek

RT	Terminál – Remote terminal
BC	Řadič sběrnice – Bus controller
T/R	Vysílání/Příjem – Transmit/Receive
DBC	Dynamické řízení sběrnice – Dynamic Bus Control
QoS	Quality of Service
DDB	Přenos datového bloku – Distribution Data Block
DTD	Deskripce datového bloku – Distribution Transfer Descriptor
DTC	Potvrzení přenosu datového bloku – Distribution Transfer Confirmation
ADB	Příjem datového bloku – Acquisition Data Block
ATR	Žádost o příjem – Acquisition Transfer Request
ATC	Potvrzení příjmu – Acquisition Transfer confirmation

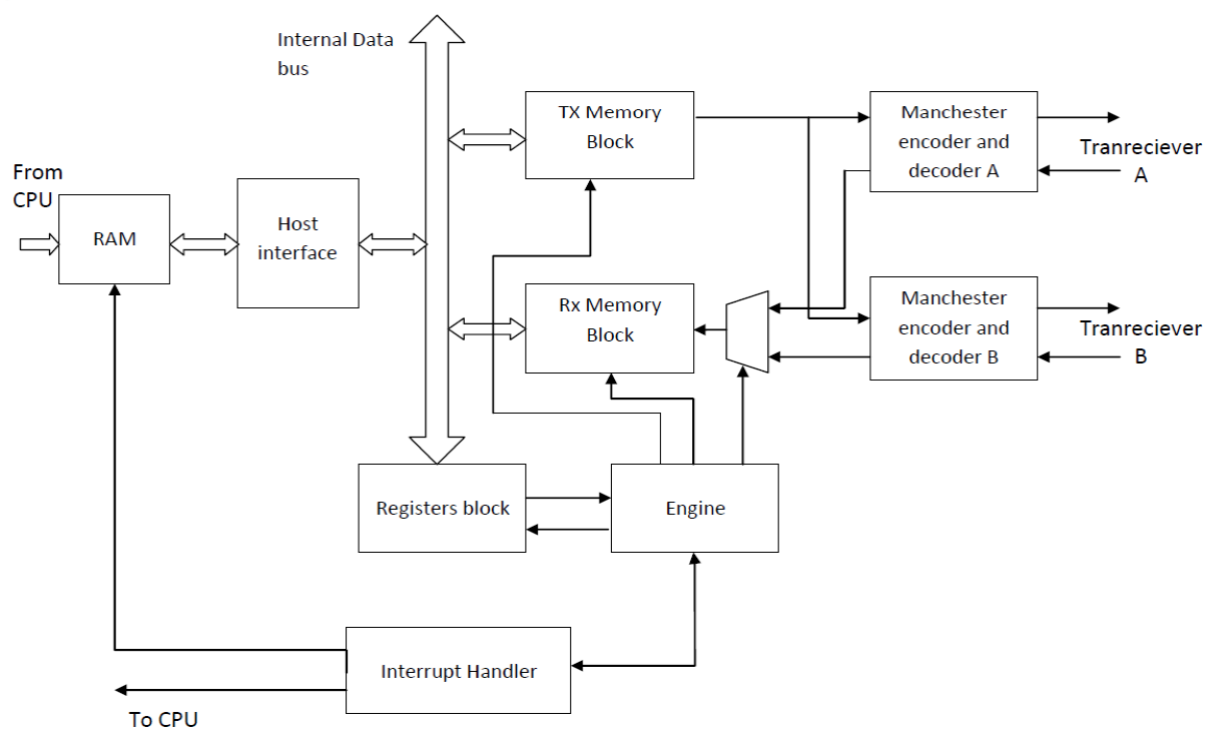
Seznam příloh

A	Architektury terminálu v literatuře	40
B	Komunikace dle standardu ECSS-E-ST-50-13C	42
B.1	Odesílání dat	42
B.2	Příjem dat	44
B.3	Deskripce datového bloku (DTD)	46
B.4	Potvrzení přenosu datového bloku (DTC)	46
B.5	Žádost o příjem (ATR)	47
B.6	Potvrzení příjmu (ATC)	47
C	Obvod HI-15960	48

A Architektury terminálu v literatuře



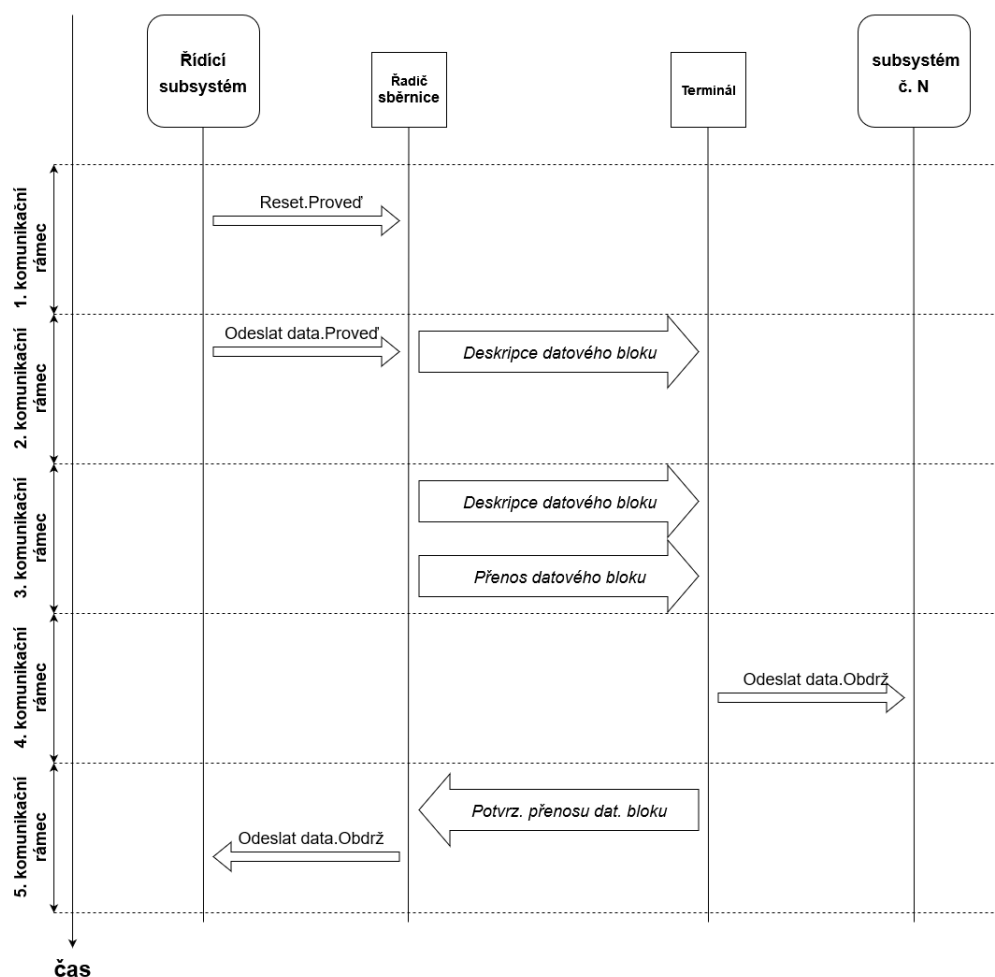
Obr. A.1: Architektura terminálu podle publikace [5]



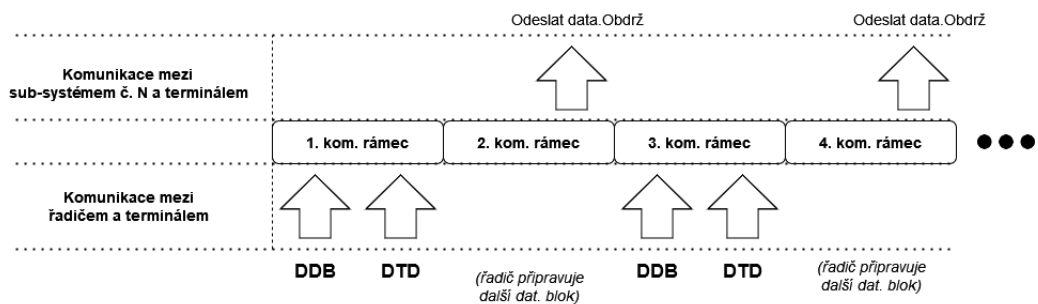
Obr. A.2: Architektura terminálu podle publikace [11]

B Komunikace dle standardu ECSS-E-ST-50-13C

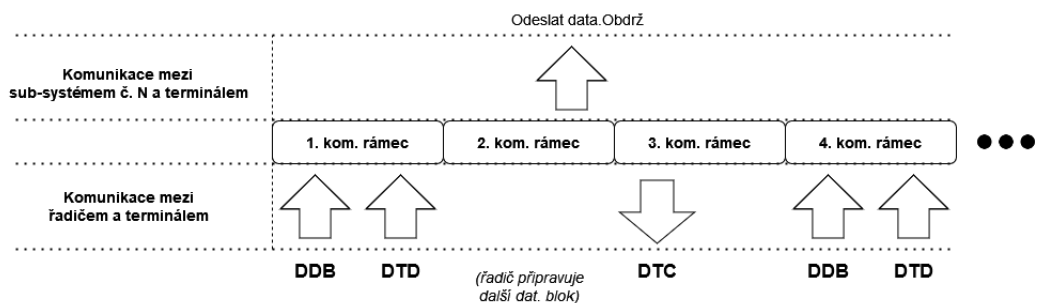
B.1 Odesílání dat



Obr. B.1: Odesílání dat z řadiče do terminálu podle **služby datových toků**

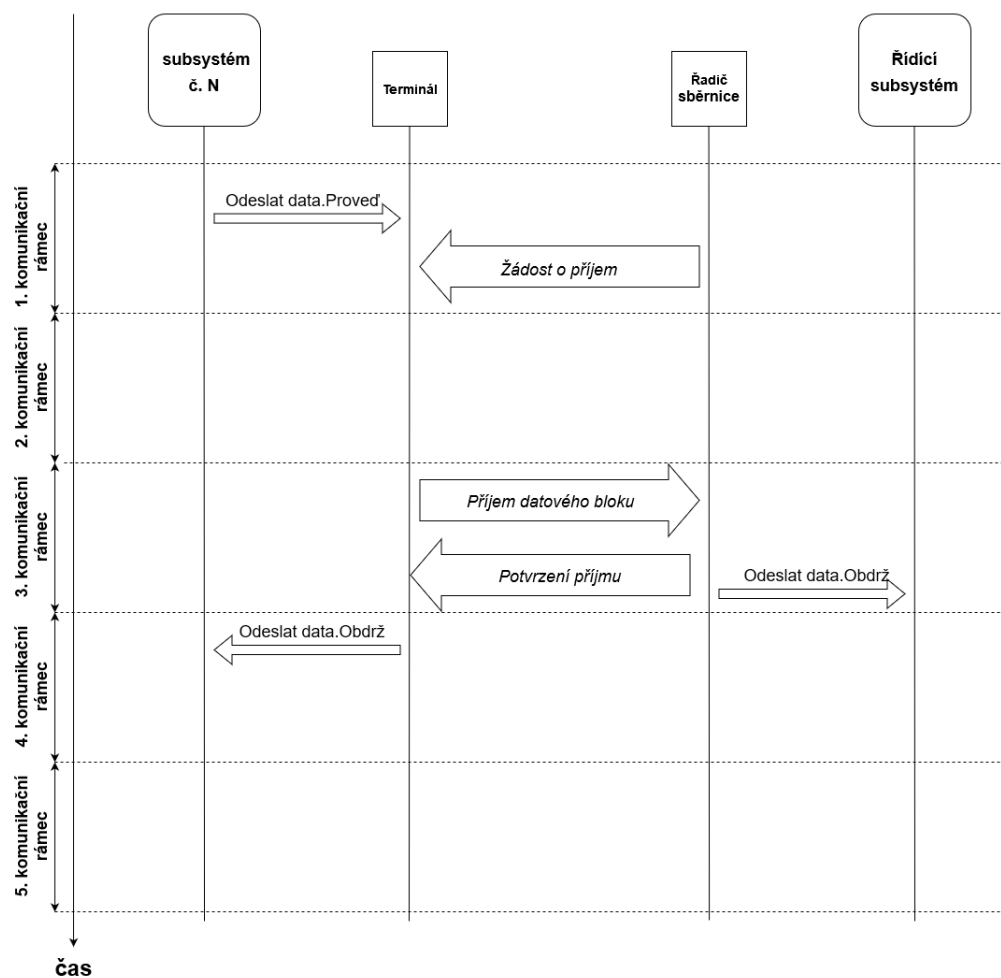


Obr. B.2: Průběh odesílání dat z řadiče do terminálu metodou **Best Effort** v rámci služby datových toků

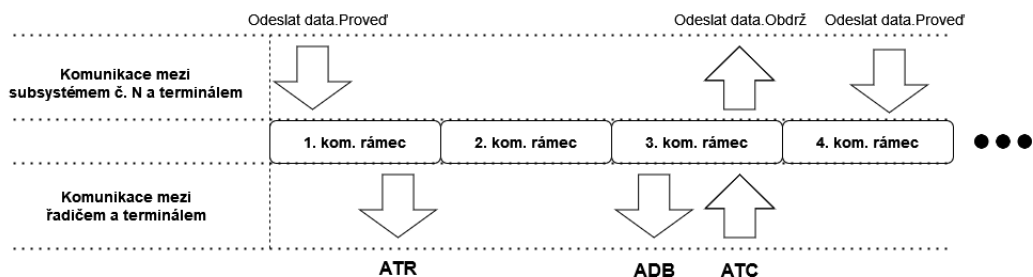


Obr. B.3: Průběh odesílání dat z řadiče do terminálu metodou **Verified Length** v rámci služby datových toků

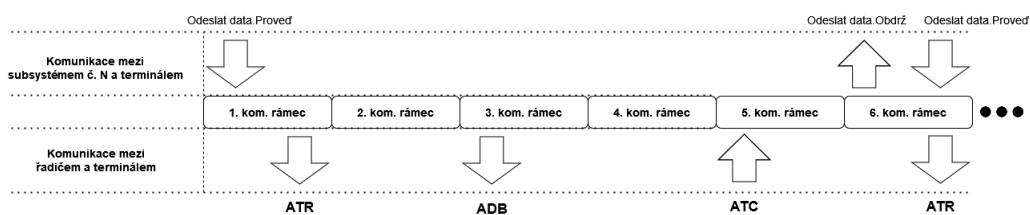
B.2 Příjem dat



Obr. B.4: Příjem dat z terminálu do řadiče podle služby datových toků

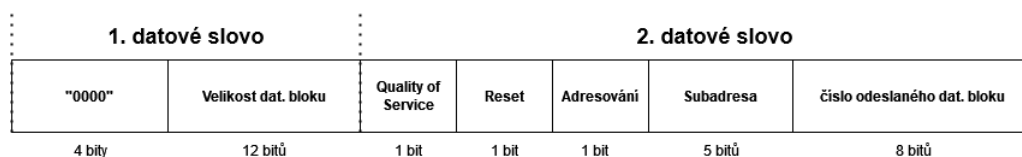


Obr. B.5: Průběh příjmu dat z terminálu do řadiče metodou **Best Effort** v rámci služby datových toků



Obr. B.6: Průběh příjmu dat z terminálu do řadiče metodou **Verified Length** v rámci služby datových toků

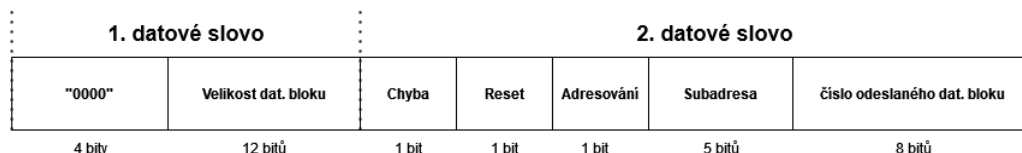
B.3 Deskripce datového bloku (DTD)



Obr. B.7: Struktura zprávy Deskripce datového bloku

- **Velikost datového bloku** – Určuje počet bajtů v DDB
- **Quality of Service** – Log. 0 znamená **Best effort**, log. 0 **Verified Length**
- **Reset** – Signalizuje terminálu, že má provést reset
- **Adresování** – Log. 0 znamená **Flat**, log. 1 **Deep**
- **Subadresa** – V případě **Deep** adresování obsahuje subadresu subsystému, při **Flat** má být trvale v hodnotě "01011"
- **Číslo odeslaného dat. bloku** – S každým dalším datovým blokem je inkrementován o 1

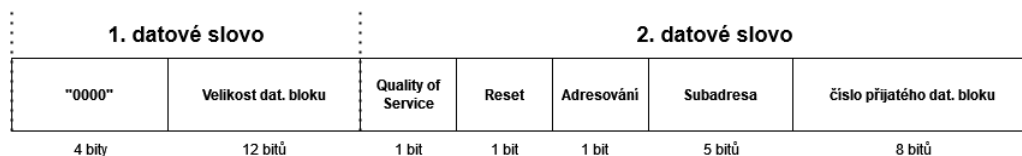
B.4 Potvrzení přenosu datového bloku (DTC)



Obr. B.8: Struktura zprávy Potvrzení přenosu datového bloku

- **Velikost datového bloku** – Určuje počet bajtů v DDB
- **Chyba** – Nabývá log. 1, pokud při přenosu došlo k chybě
- **Reset** – Signalizuje řadiči, že byl proveden reset terminálu
- **Adresování** – Log. 0 znamená **Flat**, log. 1 **Deep** (*měl by mít stejnou hodnotu jako v DTD*)
- **Subadresa** – V případě **Deep** adresování obsahuje subadresu subsystému, při **Flat** má být trvale v hodnotě "01011" (*měl by mít stejnou hodnotu jako v DTD*)
- **Číslo odeslaného dat. bloku** – S každým dalším datovým blokem je inkrementován o 1 (*měl by mít stejnou hodnotu jako v DTD*)

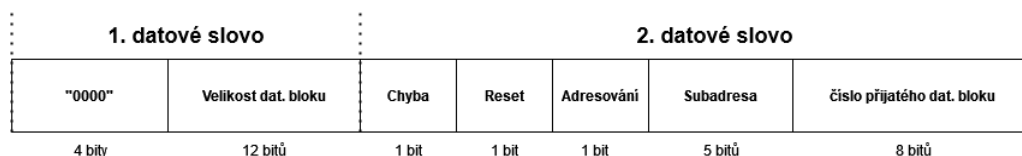
B.5 Žádost o příjem (ATR)



Obr. B.9: Struktura zprávy Žádost o příjem

- **Velikost datového bloku** – Určuje počet bajtů v ADB
- **Quality of Service** – Log. 0 znamená **Best effort**, log. 0 **Verified Length**
- **Reset** – Signalizuje řadiči, že má být terminál resetován
- **Adresování** – Log. 0 znamená **Flat**, log. 1 **Deep**
- **Subadresa** – V případě **Deep** adresování obsahuje subadresu subsystému, při **Flat** má být trvale v hodnotě "01011"
- **Číslo přijatého dat. bloku** – S každým dalším datovým blokem je inkrementován o 1

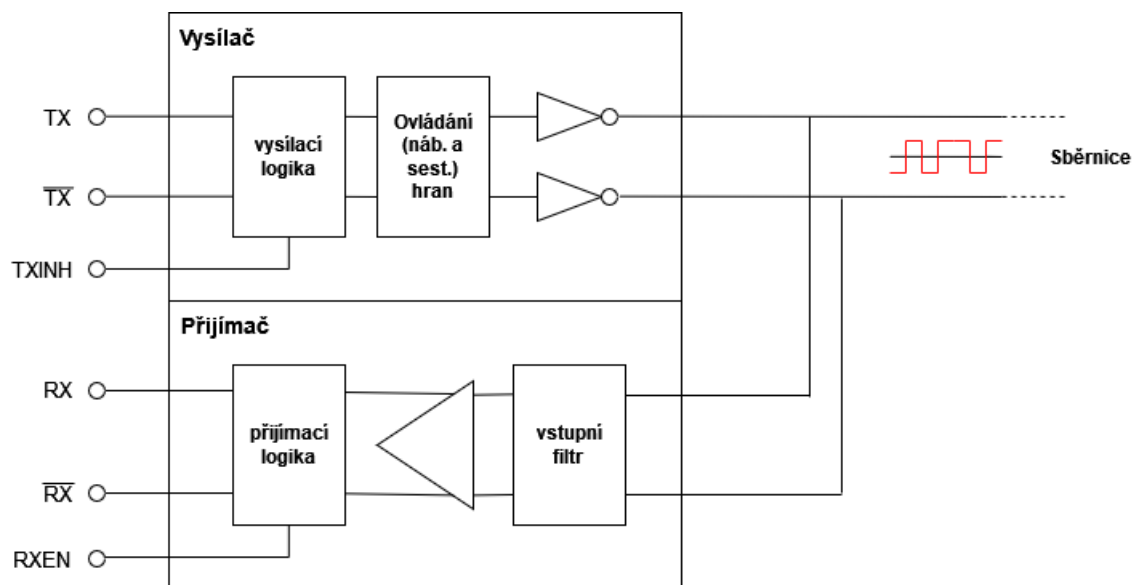
B.6 Potvrzení příjmu (ATC)



Obr. B.10: Struktura zprávy Potvrzení příjmu

- **Velikost datového bloku** – Určuje počet bajtů v DDB
- **Chyba** – Nabývá log. 1, pokud při přenosu došlo k chybě
- **Reset** – Je-li v log. 1, terminál žádá řadič, aby u něj provedl reset
- **Adresování** – Log. 0 znamená **Flat**, log. 1 **Deep** (*měl by mít stejnou hodnotu jako v ATR*)
- **Subadresa** – V případě **Deep** adresování obsahuje subadresu subsystému, při **Flat** má být trvale v hodnotě "01011" (*měl by mít stejnou hodnotu jako v ATR*)
- **Číslo přijatého dat. bloku** – S každým dalším datovým blokem je inkrementován o 1 (*měl by mít stejnou hodnotu jako v DTD*)

C Obvod HI-15960



Obr. C.1: Vnitřní struktura obvodu HI-15960 (převzato z [4])