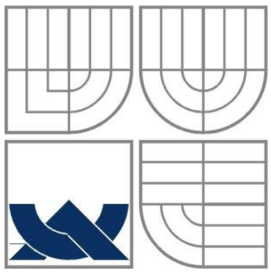
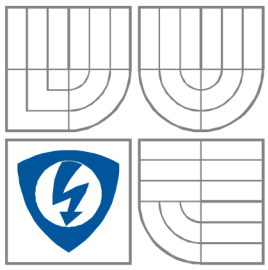


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTAELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘENÍ KVALITY A VÝSKYTU CHYB DIGITÁLNÍHO OBRAZU V MPEG-2 TS V DVB-T

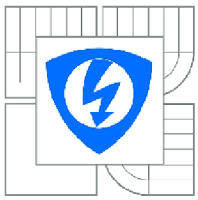
MEASUREMENT OF QUALITY AND ERRORS OF DIGITAL VIDEO IN MPEG-2 TS AT DVB-T RECEPTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Jiří Kadlček
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Ladislav Polák
SUPERVISOR

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Jiří Kadlček	***ID:***	119471
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS v DVB-T

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce se seznamte se složením transportního toku MPEG-2 TS při příjmu pozemního digitálního vysílání v síti 1 a 2. Dále se seznamte s metodami měření kvality obrazu jednotlivých programů transportního toku. Prostudujte softwarové a hardwarové možnosti měření parametrů TS.

V praktické části práce v laboratoři digitální televizní techniky proveďte měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. Vyhodnoťte a prodiskutujte získané výsledky z obou měření. Navrhněte koncepci laboratorní úlohy pro vyhodnocení a stanovení vlastností transportního toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. Připravte také vzorové vypracování navržené laboratorní úlohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FISHER, W. Digital Television. A practical Guide for Engineers. Sprigner, 2004.

[2] ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Technical report. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. European Broadcasting Union, 2001.

Termín zadání:	7.2.2011	***Termín odevzdání:***	27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Bakalářská práce popisuje složení transportního toku MPEG-2 TS při příjmu pozemního digitálního vysílání. Jsou zde popsány metody subjektivní a objektivní pro měření kvality obrazu a videa. Zároveň popisuje měřící přístroje a software, analyzátor kvality R&S DVQ, měřící dekodér R&S DVMD, MPEG-2 Realtime Monitor, MPEG-2 Quality Monitor, které byly použity při měření kvality a chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS v DVB-T. Dále se zabývá měřením, analýzou výskytu chyb a kvality digitálního obrazu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. V textu jsou taktéž obsaženy naměřené výsledky ve formě tabulek a grafů. V další části práce obsahuje výsledky a analýzy dvacetičtyřhodinových (24h) měření. Je zde provedena analýza závislosti parametrů kvality obrazového signálu na typu scény. Na závěr je v příloze navržena laboratorní úloha pro současné měření kvality a výskytu chyb v MPEG-2 TS.

KLÍČOVÁ SLOVA

Subjektivní hodnocení, Objektivní hodnocení, DVQ, DVQL-W, DVMD, SA, TA.

ABSTRACT

This bachelor's thesis describes structure of the transport stream MPEG-2 TS of the DVB-T standard and subjective and objective measuring methods of the video quality. The work also includes the description of the measurement devices and software Quality Analyzer R&S DVQ, measuring decoder ¸ DVMD, MPEG-2 Realtime Monitor, MPEG-2 Quality Monitor, which were used for the measuring the video quality and errors of the MPEG-2 TS in DVB-T. In the next part the work deals with the measurement and analysis of errors and quality of digital video stream in MPEG-2 TS. The obtained results from the measurement are presented in tables and graphically evaluated. In this work a twentyfour hour measurements of errors and quality of digital video stream in MPEG-2 TS were made. The obtained results from these measurements are evaluated and discussed. Finally, a new laboratoy work for the simultaneously measurement of the errors in video stream and video quality of the MPEG-2 TS stream was proposed.

KEYWORDS

Subjective assessment, Objective assessment, DVQ, DVQL-W, DVMD, SA, TA.

KADLČEK, JIŘÍ. *Měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS v DVB-T*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 92 s, 20 s příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS v DVB-T jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 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.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Polákovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne ....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah 6

Seznam obrázků 9

Seznam tabulek 12

Úvod 14

1 Soustava MPEG-2 15

1.1 Používané formáty MPEG-2 ... 15

1.2 Packetized Elementary Stream (PES) ... 16

1.3 Multiplex transportního toku MPEG-2 TS ... 16

1.4 MPEG-2 Transportní tok ... 17

1.5 PAT and PMT ... 17

1.6 Přístup k programu ... 18

1.7 Servisní informace podle MPEG-2 a DVB ... 19

2 Měření kvality obrazového signálu 20

2.1 Subjektivní hodnocení kvality obrazu ... 20

2.1.1 Metody subjektivního hodnocení kvality obrazu ... 20

2.2 Popis některých metod subjektivního hodnocení ... 20

2.2.1 SSCQE - Single Stimulus Continuous Quality Evaluation ... 20

2.2.2 Double Stimulus Impairment Scale (DSIS) ... 21

2.2.3 DSCQS - Double Stimulus Continuous Quality Scale ... 22

2.3 Metody objektivního hodnocení ... 22

2.3.1 Druhy objektivního hodnocení kvality obrazu ... 23

2.3.2 DVQL-W ... 23

2.3.3 SA – Spektrální Aktivita ... 24

2.3.4 Temporal Activity (TA) ... 24

2.3.5 DVQL-U ... 26

3 Popis použitých měřících přístrojů 27

3.1 Analyzátor kvality obrazu Rohde&Schwarz DVQ ... 27

3.1.1 Použití DVQ ... 27

3.1.2 Práce s DVQ ... 27

3.1.3 Dálkové ovládání/kontrola DVQ ... 28

3.2 MPEG-2 Measurement Decoder R&S DVMD ... 28
3.2.1 Analýza a dekódování MPEG-2 TS ... 28
3.2.2 Vlastnosti R&S DVMD ... 29

4 Popis použitého měřícího softwaru 30
4.1 MPEG-2 Realtime Monitor ... 30
4.2 Quality Monitor ... 31

5 Digital Video Broadcasting Terrestrial (DVB-T) 32
5.1 Standard DVB-T ... 32
5.2 Porovnání DVB-T s jinými standardy DVB ... 32

6 Měření parametrů jednotlivých programů ze sítě 1 a 2 33
6.1 Analýza pomocí analyzátoru DVQ ... 33
6.2 Analýza pomocí analyzátoru DVQ a programu Quality Monitoru ... 34
6.3 Měření výskytu chyb v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T ... 37
6.4 Informace o transportním toku MPEG-2 TS ... 37
6.5 Analýza MPEG-2 TS pomocí MPEG-2 Realtime Monitoru ... 38
6.6 Naměřené chyby v MPEG-2 TS ... 39
6.7 Závěr z krátkodobého měření kvality a chyb multiplexu 1. a 2. ... 40

7 Měření a výsledky 41
7.1 Parametry naměřených chyb ... 42
7.2 Chyby první priority ... 42
7.2.1 Chyba kontinuity (Count Count,Priorita 1) ... 42
7.2.2 Chyba Program Map Table (PMT_Error) ... 42
7.2.3 Chyba PID (PID_Error) ... 43
7.3 Chyby druhé priority ... 43
7.3.1 Chyba_Přenosu (Transport_Error) ... 43
7.3.2 Cyclic Redundancy Check Error (CRC_Error) ... 43
7.3.3 Program Clock Reference Error (PCR_Error) ... 44
7.3.4 Presentation Time Stamp Error (PTS_Error) ... 44
7.4 Chyby třetí priority ... 44
7.4.1 Service Information Repetion Rate Error (SI_Error) ... 44
7.4.2 Nedefinovaný PID (Unreferenced_PID) ... 44
7.4.3 NIT, SDT, EIT, RST_Error ... 44
7.5 Nastavení programu MPEG-2 Realtime Monitor ... 45
7.6 Chyby měřené programem MPEG-2 Realtime Monitor ... 45

7.7 Datové toky sítí 1. a 2. ... 49
7.8 Kvalita obrazu měřená objektivní metrikou DVQL-W ... 53
7.8.1 Průměrné hodnoty naměřené u jednotlivých programů ... 53
7.9 Monitorování obrazu programem Quality Monitor ... 61

8 Hodnocení kvality v závislosti na obrazové scéně 63
8.1 Podrobný popis vybraných obrazových scén ... 63
8.1.1 Fotbalové utkání ... 63
8.1.2 Televizní zprávy ... 65
8.1.3 Show Jana Krause ... 67
8.1.4 Závěrečné hodnocení typů scén ... 69

9 závěr 70

literatura 71

Seznam symbolů, veličin a zkratek 72

A Příloha – Laboratorní úloha 74

B příloha – vzorový protokol 84

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 MPEG-2 ve formátu 4:2:2 (převzato z [1]) 15
Obr. 1.2 Struktura paketu PES (upraveno a převzato z [1]) 16
Obr. 1.3 Paket MPEG-2 TS (graficky upraveno a převzato z [3]) 17
Obr. 1.4 PAT and PMT (graficky upraveno a převzato z [3]) 18
Obr. 1.5 Accessing a Program via Video and Audio PID (upraveno a převzato z [3]) 18
Obr. 1.6 Servisní informace (upraveno a převzato z [3]) 19
Obr. 2.1 Stupnice hodnocení kvality u SSCQE 21
Obr. 2.2 Varianta 1 (vlevo) a Varianta 2 (vpravo) DSIS (převzato z [5]) 22
Obr. 2.3 Vyhodnocování změn v sousedních pixelech (DVQ) (převzato z [3]) 23
Obr. 2.4 Nízká (vlevo) a vysoká (vpravo) prostorová aktivita (převzato z [2]) 24
Obr. 2.5 Nízká (vlevo) a vysoká (vpravo) spektrální aktivita (převzato z [3]) 24
Obr. 2.6 Zachycení vysoké prostorové aktivity (SA=100%, TA=100%) 25
Obr. 2.7 Zachycení nízké prostorové aktivity (SA = 0%, TA = 0%) 25
Obr. 2.8 Proces analýzy digitálního analyzátoru kvality DVQ (převzato z [3]) 26
Obr. 3.1 DVQ analyzátor kvality digitálního videosignálu Rohde&Schwarz (převzato z [6]) 27
Obr. 3.2 Ukázka z měření metodou DVQL-W (převzato z [3]) 28
Obr. 3.3 MPEG-2 měřící dekodér DVMD (převzato z [7]) 28
Obr. 4.1 Ukázka prostředí programu MPEG-2 Realtime Monitoru 30
Obr. 4.2 Ukázka měření kvality obrazového signálu pomocí programu Quality Monitor 31
Obr. 6.1 Blokové schéma zapojení pro měření kvality digitálního obrazu video signálu 33
Obr. 6.2 Blokové schéma zapojení pro měření výskytu chyb v digitálním obrazu 37
Obr. 6.3 Ukázka z měření datových toků multiplexu 1 v čase 45 min 38
Obr. 6.4 Chyby naměřené dekodérem DVMD po dobu 45 minut (program NOVA) 39
Obr. 7.1 Chyby multiplexu 1. naměřené programem MPEG-2 Realtime Monitor - při současném měření kvality programu ČT4. 42
Obr. 7.2 Přiklad informací Program Association Table (PMT) zachycených na DVB-T analyzátoru pozemního vysílání (TVA). 43
Obr. 7.3 Nastavení indikací chyb u provedených měření MPEG-2 TS (multiplexu 1. a 2.) ... 45
Obr. 7.4 Chyby první priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2. 47
Obr. 7.5 Chyby druhé priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2. 47
Obr. 7.6 Chyby třetí priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2. 47
Obr. 7.7 Celkový počet chyb dané priority naměřených během 24 hodin (multiplex 1. a 2.) . 48

Obr. 7.8 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT4 (multiplex 1)..... 55
Obr. 7.9 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu Nova (multiplex 2)..... 55
Obr. 7.10 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu Prima (multiplex 2)..... 56
Obr. 7.11 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT1 (multiplex 1)..... 56
Obr. 7.12 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT24 (multiplex 1)..... 57
Obr. 7.13 Porovnání průměrné kvality obrazu 24 hodinových měření (prog. multiplexu 1. a 2.) 57
Obr. 7.14 Porovnání průměrné prostorové aktivity 24 hodinových měření u vybraných programů multiplexu 1. a 2. 58
Obr. 7.15 Porovnání průměrné časové aktivity 24 hodinových měření (multiplexu 1. a 2.)... 58
Obr. 7.16 Porovnání datové rychlosti u 24 hodinových měření (multiplexu 1. a 2.)..... 59
Obr. 7.17 Maximální a minimální datové rychlosti dosažené dlouhodobými měřeními (multiplex 1. a 2.) 60
Obr. 7.18 Monitorování programu ČT1 (multiplex 1) programem Quality Monitor 62
Obr. 8.1 Snímek z nahraného přímého přenosu fotbalového utkání (prog. ČT4, multiplex 1.) 63
Obr. 8.2 Hodnoty kvality měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. ČT4, multiplex 1.) . 64
Obr. 8.3 Snímek provedeného záznamu Televizních novin (TV Nova, multiplex 2.)..... 65
Obr. 8.4 Hodnoty kvality měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. Nova, multiplex 2.) 66
Obr. 8.5 Snímek ze Show Jana Krause (TV Prima, multiplex 2) 67
Obr. 8.6 Hodnoty veličin měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. Prima, multiplex 2.)68
Obr. 8.7 Hodnoty veličin měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. ČT24, multiplex 1) 68
Obr. 9.1 Vytváření programového a transportního toku ve standardu MPEG-2 (převzato z [1]) 75
Obr. 9.2 Paket MPEG-2 TS (graficky upraveno a převzato z [2])..... 75
Obr. 9.3 Snímek s vysokou prostorovou SA a časovou TA aktivitou. 77
Obr. 9.4 Snímek s nízkou prostorovou SA a časovou TA aktivitou. 77
Obr. 9.5 Prostředí programu MPEG-2 Realtime Monitor při analýze chyb prostřednictvím dekodéru DVMD. 78
Obr. 9.6 Nastavení komunikace přes rozhraní RS232 (komunikace mezi dekodérem DVMD a programem MPEG-2 Realtime Monitor) 78
Obr. 9.7 Typické průběhy tvořené měřením kvality v programovém prostředí Quality Monitor při měření analyzátorem DVQ 79
Obr. 9.8 Nastavení IP adresy a portu pro komunikaci mezi analyzátoru DVQ a programem Quality Monitor. 79
Obr. 9.9 Měření metrikou DVQL-W a SA a TA na přístroji DVQ (převzato z [2])..... 81
Obr. 9.10 Rozmístění přístrojů laboratorního pracoviště – úloha č. 8. 82
Obr. 9.11 Chyby naměřené během třicetiminutového monitorování multiplexu 2 86

Obr. 9.12 Průměrné hodnoty naměřené kvality u programů multiplexu 2 89
Obr. 9.13 Naměřené hodnoty veličin (DVQL-W, SA, TA) multiplexu 2..... 89
Obr. 9.14 Hodnoty datové rychlosti všech programů multiplexu 2 90

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Bodové hodnocení odpovídající subjektivnímu hodnocení testu SSCQE (převzato z [2]) 21
Tab. 2.2 Popis průběhů metody DSIS 22
Tab. 2.3 Pětibodová stupnice hodnocení kvality (převzato z 3]) 22
Tab. 6.1 Analýza programového obsahu multiplexu 1 33
Tab. 6.2 Analýza programového obsahu multiplexu 2 34
Tab. 6.3 Analýza kvality obrazu multiplexu 1. – metoda DVQL-U 35
Tab. 6.4 Analýza kvality obrazu multiplexu 2. – metoda DVQL-U 35
Tab. 6.5 Analýza kvality obrazu multiplexu 1. – metoda DVQL-W 36
Tab. 6.6 Analýza kvality obrazu multiplexu 2. – metoda DVQL-W 36
Tab. 6.7 Dostupné informace o transportním toku MPEG-2 TS multiplexu 1. a 2. 37
Tab. 6.8 Datové toky multiplexu 1 zaznamenané z měřeného intervalu 30 min. 38
Tab. 6.9 Datové toky multiplexu 2 zaznamenané z měřeného intervalu 30 min. 39
Tab.7.1 Datum jednotlivých 24 hodinových měření programů ze sítí multiplexu 1. a 2. 41
Tab. 7.2 Parametry multiplexu 1. a 2.[9], [10] 41
Tab. 7.3 Celkový počet změřených chyb seřazených podle priority (multiplex 1. a 2.) 45
Tab. 7.4 Veškeré chyby naměřené při 24 hodinových měřeních u multiplexů 1. a 2. 46
Tab. 7.5 Datové toky multiplexu 2. (část 1/2) 49
Tab. 7.6 Datové toky multiplexu 1. (část 1/2) 51
Tab. 7.7 Zobrazení naměřených hodnot kvality obrazu během 24 hodinových měření programů multiplexu 1. a 2. 53
Tab. 7.8 Vývoj naměřených hodnot DVQL-W, SA, TA a DR během 24 hodinového měření v intervalech opakujících se po hodině (program TV Prima) 54
Tab. 7.9 Monitorování průběhu měřených veličin programu ČT1 (multiplex 1) v závislosti na hodinových časových intervalech 61
Tab. 8.1: Vývoj měřených veličin během přenosu 64
Tab. 8.2 Vývoj minimálních a maximálních naměřených veličin během živého přenosu fotbalového zápasu 64
Tab. 8.3: Vývoj průměrných měřených veličin naměřených během večerního vysílání Televizních novin 66
Tab. 8.4: Vývoj minimálních a maximálních hodnot měřených během večerního vysílání Televizních novin 66
Tab. 9.1 Bodové hodnocení odpovídající subjektivnímu hodnocení testu SSCQE [2] 77
Tab. 9.2: Datový tok multiplexu 2 měřený po dobu (t = 30 minut). 86

Tab. 9.3: Podrobná analýza programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS (multiplex 2) 87

Tab. 9.4: Výsledky metody DVQL-U (multiplex 2) 88

Tab. 9.5 Výsledky metody měření kvality obrazu DVQL-W (multiplex 2) – data získaná z programu Quality Monitor 88

ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je měření výskytu chyb a kvality obrazového digitálního signálu v transportním toku MPEG-2 TS (Motion Picture Experts Group -2 Transport Stream) při příjmu pozemního digitálního televizního vysílání DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial).

Největší vliv na zde měřenou kvalitu obrazu při digitálním televizním vysílání má struktura provedení komprimovaného signálu MPEG-2 TS. Komprimací obrazového signálu se snižuje kvalita digitálního obrazu oproti obrazu referenčnímu. V této práci je popsán a následně měřen transportní tok MPEG-2 TS.

Kvalitu obrazu popisují dva různé druhy metrik subjektivní a objektivní hodnocení kvality digitálního signálu. Při subjektivním hodnocením kvality jsou stále zajištěny přesnější měření kvality obrazu. Na základě subjektivního hodnocení SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation) funguje i analyzátor kvality obrazu R&S DVQ (Digital Video Quality), jehož bylo využito pro měření kvality digitálního signálu. Objektivní hodnocení vzniklo ze subjektivního. Mezi metriky objektivního hodnocení patří DVQL-U (Digital Video Quality – Unweighted) a DVQL-W (Digital Video Quality – Weighted) popisující kvalitu obrazu. Metriku objektivního hodnocení DVQL-W využívá program Quality Monitor, kterého bylo využito při měření kvality obrazu v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. Pro měření výskytu chyb v digitálním obrazu v MPEG-2 TS v DVB-T bylo využito měřícího dekodéru DVMD, jehož náplní bylo monitorování a analýza transportního toku MPEG-2 TS. Pro měření chyb bylo rovněž využito softwaru MPEG-2 Realtime Monitoru, jež měřil obdobné hodnoty jako DVMD. Oba typy měření byly prováděny v laboratoři televizní techniky UREL FEKT VUT v Brně.

V druhé části práce bylo sestaveno nové pracoviště, které slučuje dohromady laboratorní úlohy 7. a 8. předmětu Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). Na tomto pracovišti bylo postupně změřeno pět dvacetičtyřhodinových (24h) měření analyzujících kvalitu a výskyt chyb v programech sítí multiplexu 1. a 2. Prostřednictvím hodnot získaných měřením ve spojení s televizním záznamem, jež byl zhotoven pro všechny dlouhodobá měření, byla sestavena analýza zabývající závislostí naměřených hodnot na aktuální obrazové scéně. U hodnocení obrazových scén bylo použito zhotoveného video záznamu, který byl porovnáván s naměřenými hodnotami.

V příloze A je sestavena nová laboratorní úloha slučující úlohy 7. a 8. předmětu Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). V příloze B je k této nové úloze vypracován vzorový protokol.

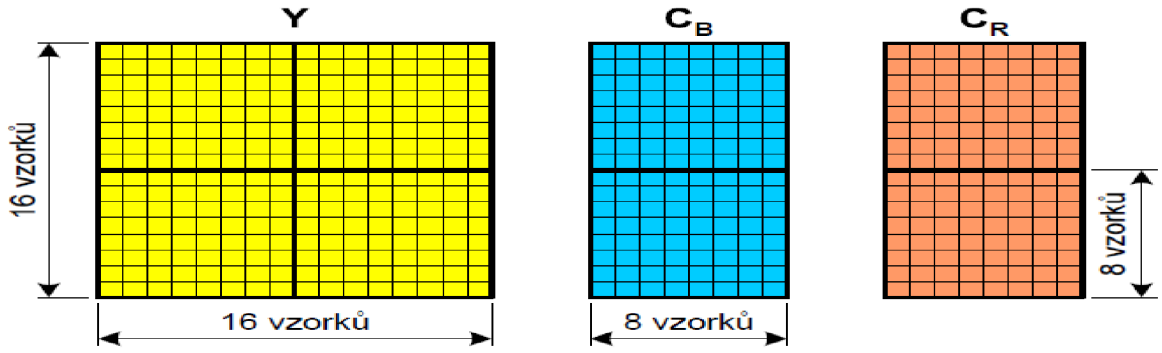
1 SOUSTAVA MPEG-2

MPEG-2 je nejrozšířenější kompresní standard pro digitální televizní vysílání. MPEG-2 je kompresní formát, který je určen ke kompresi digitálních obrazových signálů (dat). MPEG-2 je možné využívat rovněž k záznamu na disky DVD. Používá se ve formátu 4:2:2 (tento formát je s prokládaným řádkováním). Tento formát 4:2:2 (viz Obr. 1.1) standard MPEG-1 neumí. Používá se i v jiných formátech například 4:2:0, který se používá pro DVB-T. MPEG-2 můžeme použít dokonce i ve formátu 4:4:4. MPEG-2 používá při komprimaci všechny principy používané v MPEG-1 (VLC, DCT, entropické kódování, jednosměrnou i obousměrnou predikci, vektory pohybu). Díky těmto vlastnostem nachází své využití při komprimaci videosignálů a zejména se používá k distribuci televizního signálu. Distribuci MPEG-2 lze provést v různých prostředích ve družicovém DVB-S, kabelovém DVB-C a terestriálním DVB-T). [1]

MPEG-2 je ztrátový komprimační datový formát, který slouží ke snížení datového toku a tím i velikosti výsledného souboru u digitálně zpracovávaných videozáznamů při co nejmenším viditelném zhoršení kvality po dekomprimaci. Jeho předchůdcem je formát MPEG-1 a dokonalejším technologickým nástupcem formát MPEG-4. MPEG-2 je zároveň standardním formátem užívaným pro ukládání a přenos videa na DVD, nebo při distribuci digitálního televizního signálu DVB-T. U aplikací, které vyžadují MPEG-2 komprimaci či dekomprimaci videa v reálném čase, jsou kladeny výrazně vyšší nároky na výpočetní kapacitu procesoru, než u formátu MPEG-1.

1.1 Používané formáty MPEG-2

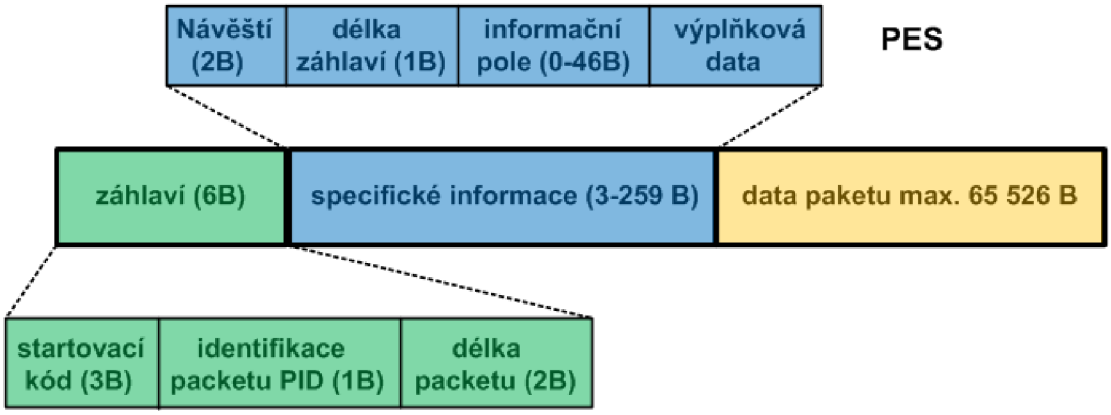
Pro vysílání DVB-T se většinou používá varianta 4:2:0, čímž jsou omezeny chrominanční složky Cb a Cr v makrobloku ze čtyř na jednu. Dále se používá formát 4:2:2, ve kterém naopak tvoří čtyři bloky jasový signál (16 x 16 vzorků) a dvě dvojce chrominančních signálů CB, CR.(8 x 16 vzorků), kde jednu polovinu tvoří jasový a druhou chrominanční signály (viz. Obr. 1.1) [1].



Obr. 1.1 MPEG-2 ve formátu 4:2:2 (převzato z [1])

1.2 Packetized Elementary Stream (PES)

PES vzniká po kompresi velkého datového proudu (270Mbit/s). Jeho datový proud je podle požadované kvality (3 – 4Mbit/s). PES v překladu paketový elementární datový tok obsahuje 6 bytové záhlaví, ve kterém tvoří 3 byty startovací kód (obvykle 0x000001), 1 byte identifikaci paketu PID udávající druh užitečné informace (až 16 video programů a 32 audio doprovodů) a zbývající dva byty záhlaví tvoří délku paketu. Místo za záhlavím je v paketu PES určeno pro specifické informace, jejichž velikost je proměnná od 3 do 259 bytů. Specifické informace obsahují návěští (2 byty), délku záhlaví (1 byte), informační pole s proměnnou velikostí 0 až 46 bytů a poslední část specifických informací obsahuje výplňková data. Užitečná informace (audio, video nebo textová data), kterou tvoří data paketu, může mít maximální velikost 65 526 bytů (viz. Obr. 1.2) [1].



Obr. 1.2 Struktura paketu PES (upraveno a převzato z [1])

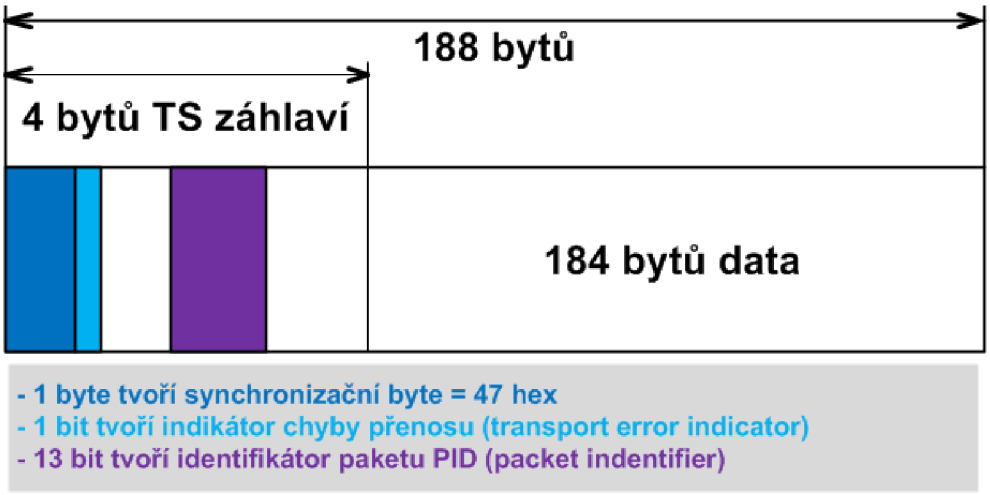
1.3 Multiplex transportního toku MPEG-2 TS

V rámci jednoho kanálu představuje spojení zdrojových datových toků jednotlivých služeb. Například spojení jednoho či více obrazových nebo zvukových datových toků, teletextových dat, obecných dat atd. Jediným omezujícím faktorem je kapacita kanálu, které se může dynamicky přizpůsobovat konfigurace multiplexního systému. Dekodér v přijímači sleduje změny automaticky. Proto je zde zaveden PSI (Program Specific Information), což je pomocný datový kanál sloužící k synchronizaci [2].

Přijímací strana umožňuje dekódovat jenom datový tok dané služby. Za tohoto stavu není nutné použití úplného demultiplexování. Multiplexem lze snadně vkládat i oddělovat datové toky jednotlivých služeb, což umožňuje jejich kombinování bez demultiplexování nebo dokonce dekódování a nového kódování celého datového toku [2].

1.4 MPEG-2 Transportní tok

Transportní tok MPEG-2 TS se skládá z paketů, které mají konstantní délku. MPEG-2 TS je uspořádán do paketů o 188 bytech, kde 4 byty tvoří záhlaví transportního paketu a 184 bytů tvoří tzv. užitečnou část, kterou tvoří data paketu. (viz. Obr. 1.3). Data paketu mohou obsahovat video, audio nebo obecné údaje. Záhlaví obsahuje položky důležité pro přenos paketů. První byte záhlaví tvoří synchronizační byte (sync byte). Synchronizační byte má vždy hodnotu 47_{hex} a opakuje se po 188 bytech. Již z názvu vyplývá, že se synchronizační byte používá k synchronizaci paketu transportního toku. Dalším důležitým faktorem v transportním toku je 13 bitový paketový identifikátor (packed identifier), jemuž odpovídá zkratka PID. PID popisuje aktuální obsah části užitečného zatížení tohoto paketu. Bit následující po synchronizačním bytu je indikátor informující o chybách přenosu (Transport Error Indicator). V záhlaví se objevují ještě mnohé další bity, například priorita přenosu, která tvoří 1 bit, řízení skramblovacího procesu, jež tvoří 2 bity [3].

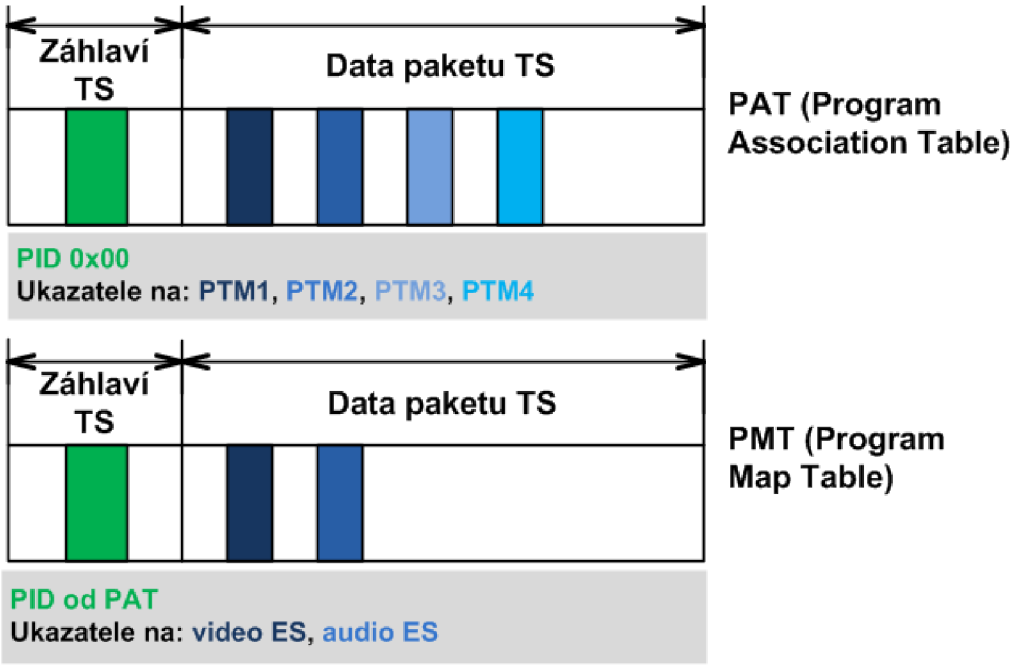


Obr. 1.3 Paket MPEG-2 TS (graficky upraveno a převzato z [3])

Konstantní délka paketů se u MPEG-2 TS volí, protože je pro zabezpečení signálu vhodné používat krátkých a zároveň stejně dlouhých paketů. Stejně velké pakety potom usnadňují synchronizaci a zároveň se dobře zabezpečují přídavnými ochranami při kanálovém kódování.

1.5 PAT and PMT

Čísla a struktury programů jsou předávány v transportním toku. Transportní tok (TS) může obsahovat jeden program s jedním video a audio tokem nebo 20 a více programů různé struktury (video, samostatné audio apod.). Pro přehlednost je tedy nezbytné, aby transportní tok obsahoval nějaký seznam popisující aktuální (okamžitou) strukturu transportního toku (viz. Obr. 1.4) [3].



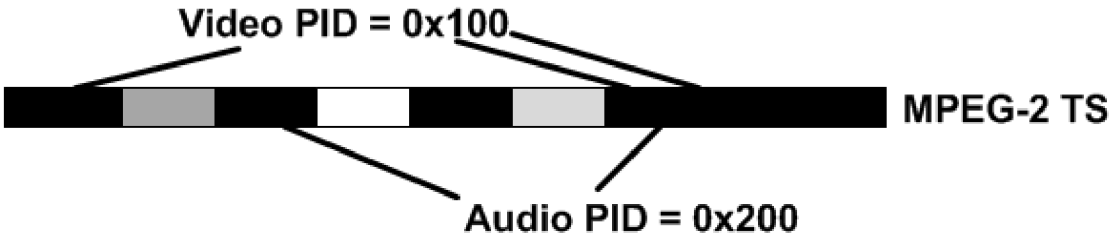
Obr. 1.4 PAT and PMT (graficky upraveno a převzato z [3])

PAT (**Program Association Table**) **-** Ukazuje údaj o počtu programů v transportním toku. Je v ní zahrnut PID (program identifikátor) a ukazatel na PMT [2].

PMT (**Program map table**) **-** Obsahuje ukazatele na individuální pakety programu. Obsahuje název programu, informace o copyrightu programu [2].

1.6 Přístup k programu

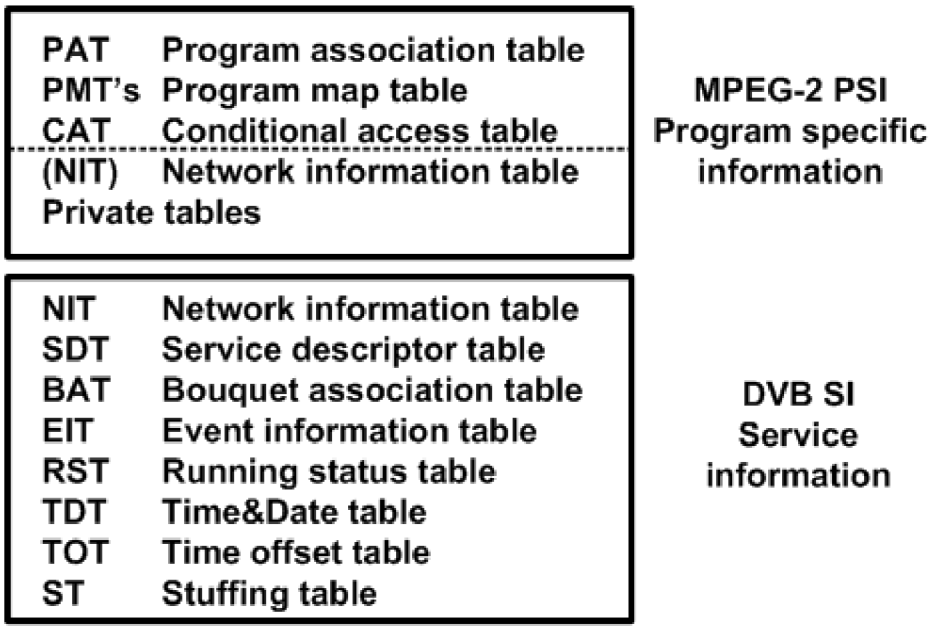
Přístup k programu pomocí ***Video PID*** a ***Audio PID*** identifikátorů obrazového nebo zvukového paketu. Například video PID má u programu televize Nova hodnotu 101 a audio PID má u též televizní stanice hodnotu 111 (viz. Obr. 1.5) [3].



Obr. 1.5 Accessing a Program via Video and Audio PID (upraveno a převzato z [3])

1.7 Servisní informace podle MPEG-2 a DVB

Servisní informace názorně představuje tabulka Servisních informací (viz. Obr. 1.6).



Obr. 1.6 Servisní informace (upraveno a převzato z [3])

CAT (Conditional Access Table) - CAT dodává PID pro jiné datové pakety v transportním toku, ve kterém se přenáší dekódování této informace (informace o podmíněném přístupu k programu) [3].

NIT (Network Information Table) - popisuje všechny fyzikální parametry vysílání DVB [2].

STD (Service Description Table) - obsahuje podrobnější popis o programech a službách transportního toku (TS) [3].

BAT (Bouquet Association Table) - STD a BAT mají stejné PID a liší se pouze pomocí „table ID". BAT popisuje programovou strukturu jen několika fyzických kanálů nebo velkého počtu fyzických kanál [3].

EIT (Event Information Table) - tabulka informující o změnách, které se objevují v aktuálně dekódovaném TS [2].

RST (Running Status Table) - obsahuje informace o programech, které jsou aktuálně dostupné [2].

TDT (Time and Data Table) - řídí vnitřní synchronizaci dekodéru přijímače [2].

2 MĚŘENÍ KVALITY OBRAZOVÉHO SIGNÁLU

Na kvalitu obrazu digitálního televizního signálu působí trochu jiné vlivy a efekty než na kvalitu obrazu analogového televizního signálu. Hodnocení obrazové kvality digitálního signálu se provádí dvěma způsoby subjektivním nebo objektivním hodnocením.

2.1 Subjektivní hodnocení kvality obrazu

Metody subjektivního hodnocení kvality obrazového signálu jsou popsány v doporučení Mezinárodní telekomunikační unie ITU-R BT.500 [2]. V tomto doporučení jsou popsány jednotlivé podmínky a metody, které se musí při měření dodržovat.

Subjektivní hodnocení kvality obrazu je založeno na využití lidského faktoru. To znamená, že využívá skupiny pozorovatelů, kteří po předem stanovenou dobu (podle typu metody subjektivního hodnocení) pozorují obraz, přičemž pomocí definované stupnice určují, na základě jejich vlastního subjektivního dojmu kvalitu hodnoceného obrazu. Při tomto hodnocení pozorovatelům je i není zobrazen referenční obraz. Výsledek tohoto testu určí průměrnou hodnotu hodnocení skupiny uživatelů [5].

2.1.1 Metody subjektivního hodnocení kvality obrazu

Doporučení ITU-R BT.500[1] a ITU-R BT.700 obsahuje tyto metody subjektivního hodnocení kvality obrazu [5]:

- **DSIS -** Double Stimulus Impairment Scale
- **DSCQS -** Double Stimulus Continous Quality Scale
- **SS -** Single Stimulus
- **SC -** Stimulus Comparison
- **SSCQE -** Single Stimulus Continuous Quality Evaluation
- **SDSCE -** Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation
- **SAMVIQ -** Subjektive Assessment Metodology for Video Quality

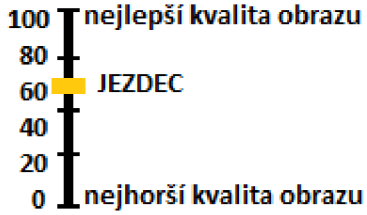
2.2 Popis některých metod subjektivního hodnocení

2.2.1 SSCQE - Single Stimulus Continuous Quality Evaluation

Tato metoda je použita v měření kvality digitálního obrazového signálu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T, které je popsáno v kapitolách 6, 7 a 8.

Metoda SSCQE je určena pro subjektivní testování kvality obrazového signálu. SSCQE je opakem k metodám, které testují celé scény, nebo porovnávají testovaný obraz s referenčním obrazem. Vychází z průběžného hodnocení kvality obrazu, které probíhá během dlouhé periody měření. Pozorovatelé sledují a hodnotí obraz, který je jim promítán bez referenčního (základního) obrazu. Pozorovatelé hodnotí obraz průběžně a to posunováním

jezdce na hodnotící stupnici určené pro tuto metodu (SSCQE). Stupnice obsahuje hodnoty 0 – 100, přičemž její délka je 10 cm. Z čehož vyplývá, že na každý milimetr připadá jeden bod hodnocení od nuly do sta. Uživatel má tak dostatečně přesné zařízení k hodnocení. Na stupnici (viz. Obr. 2.1) je nula nejhorším hodnocení a sto naopak nejlepší známka kvality obrazu videa. Bodové hodnocení je podrobněji zobrazeno v tabulce 2.1 [5].



Obr. 2.1 Stupnice hodnocení kvality u SSCQE

K takovému měření je zapotřebí skupiny obsahující na doporučení minimálně patnáct členů, protože výsledkem metody SSCQE je průměrná hodnota hodnocení skupiny uživatelů.

Metoda najde své využití u systémů, které mají časově proměnný stupeň komprese obrazu, mezi něž se řadí i digitální televizní signál (např. terestriální DVB-T) [3].

Tab. 2.1 Bodové hodnocení odpovídající subjektivnímu hodnocení testu SSCQE (převzato z [2])

Bodové honocení	Kvalita obrazu	Poškození obrazu
100 - 80	výborná (excellent)	nevnímatelné
79 - 60	dobrá (good)	vnímatelné, neruší
59 - 40	uspokojivá (fair)	vnímatelné, mírně ruší
39 - 20	nízká (poor)	rušivé
19 - 0	špatná (bad)	velmi rušivé

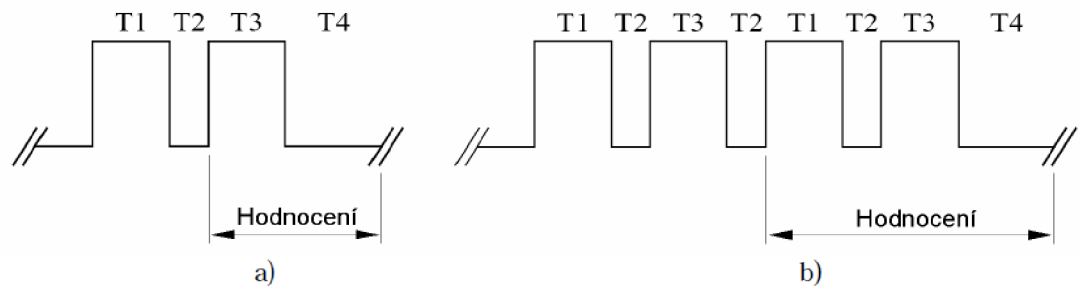
2.2.2 Double Stimulus Impairment Scale (DSIS)

Metoda je založena na rozdílu testovaného obrazu od referenčního obrazu, přičemž referenční obraz má větší kvalitu než testovaný obraz. DSIS je tedy vhodná pro hodnocení komprimačních standardů (např. MPEG-2, MPEG-4, H.264) nebo rovněž pro analýzu vlivu přenosové cesty na poškození obrazu.

Metoda má dvě varianty, které jsou níže popsány a jejich průběhy jsou zobrazeny na Obr. 2.2 a současně popsány v Tab. 2.2 [5].

V první variantě se pozorovateli promítne referenční obraz po dobu 10 sekund (T1), potom 3 sekundy neutrální šedý obraz (T2), dále 10 sekund testovaný obraz a v konečné fázi se promítne na dobu 5 – 11 sekund neutrální šedý obraz (T4). V poslední fázi (T4) má pozorovatel čas na hodnocení kvality obrazu. [5]

Druhá varianta je přesnější než první a používá se pro hodnocení obrazu s menší chybovostí nebo pro video sekvence. Intervaly T1, T2 a T3 se zde opakují dvakrát po sobě. Hodnocením se získá rozdíl úrovně zkreslení testovaného obrazu od obrazu referenčního. K hodnocení se používá pětibodové stupnice [5].



Obr. 2.2 Varianta 1 (vlevo) a Varianta 2 (vpravo) DSIS (převzato z [5])

Tab. 2.2 Popis průběhů metody DSIS

T1 = 10s	T2 = 3s	T3 = 10s	T4 = (5 až 11)s
Referenční obraz	Neutrální šedý obraz	Zkušební fáze	Neutrální šedá

2.2.3 DSCQS - Double Stimulus Continuous Quality Scale

Základ této metody je blízký základu metody DSIS, přičemž zde se přímo porovnává referenční (originál) a testovaný (komprimovaný) obraz. Při měření, které trvá cca 30 min se skupině pozorovatelů promítají náhodně vybrané obrazy různých kompresních metod (např. MPEG-2, MPEG-4, H.264). Metoda DSCQS je vhodná na pro hodnocení krátkých sekvencí [5].

Nejprve se pozorovateli na 2 sekundy promítne neutrální šedý obraz, potom na 5 sekund referenční obraz, a potom 2 sekundový neutrální šedý obraz s číslem obrazu a v poslední fázi se pozorovatelům promítne na 5 sekund testovaný obraz. Všechny fáze promítání se ještě jednou zopakují. A nakonec má pozorovatel cca 10 sekund na hodnocení, kdy zapisuje hodnocení kvality obrazu [3].

Pro tuto metodu je dle doporučení ITU-R BT.500-11 zapotřebí cca minimálně skupiny patnácti pozorovatelů. Tito lidé musí být z různých věkových a profesních skupin, což má podle doporučení nemalý vliv na výsledek. Pozorovatelé hodnotí obraz na pětibodové stupnici (grading scales), (viz. Tab. 2.3) [5].

Tab. 2.3 Pětibodová stupnice hodnocení kvality (převzato z 3])

Bodové hodnocení	Obrazová kvalita
100 – 80	výborná
79 – 60	dobrá
59 – 40	uspokojivá
39 – 20	nízká
19 - 0	špatná

2.3 Metody objektivního hodnocení

Objektivní měření kvality je založeno na matematických výpočtech. Je mnohem rychlejší a jednodušší než subjektivní měření. Jeho základní princip spočívá rovněž v porovnávání originálního (referenčního) obrazu s obrazem, který je hodnocen. V tomto případě obraz už

nehodnotí skupina pozorovatelů, ale výsledek je určen na základě matematického a statistického výpočtu na základě porovnání originálu s hodnoceným obrazem [3].

Hodnotí se vzájemné rozdíly obrazů, přičemž vlastnosti obrazů se získávají porovnáváním matic referenčního a hodnoceného (komprimovaného) obrazu. Porovnávají se jednotlivé obrazy nebo jejich sekvence. Dále se pak hodnotí samostatně jen komprimovaný obraz. Hodnotí se konkrétně samostatně jeho obrazová matice, přičemž kvalita obrazu je získána z každého obrazu nebo z obrazové sekvence komprimovaného obrazu [3].

Existují tedy dva postupy hodnocení samostatného komprimovaného obrazu a určování kvality porovnáním referenčního a komprimovaného obrazu. Z těchto dvou metod je přesnější metoda založená na porovnávání dvou obrazů, protože je u ní zajištěna lepší přesnost díky většímu objemu hodnocených parametrů [3].

2.3.1 Druhy objektivního hodnocení kvality obrazu

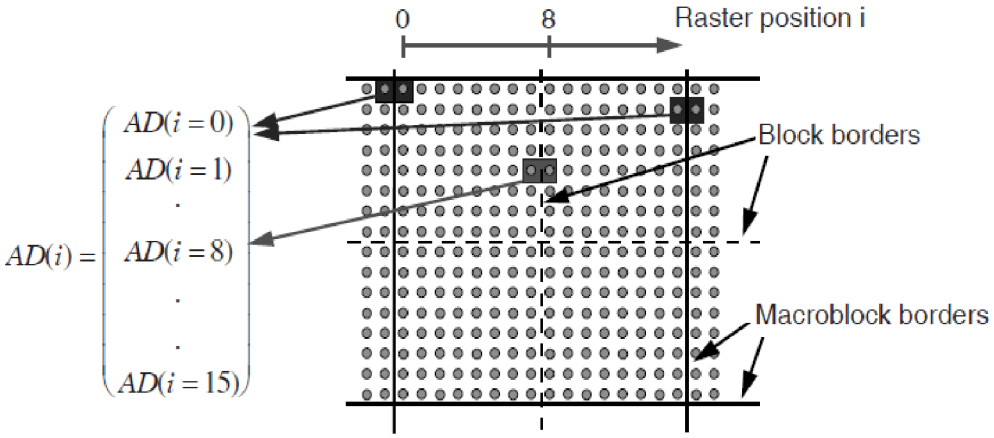
Obecně se při objektivním hodnocení hodnotí hlavně jasová složka signálu, přičemž měřit se může i barevná složku signálu. Digitální obraz je reprezentován maticí M x N, kde M je počet sloupců a N počet řádků matice. Pro objektivní měření kvality se používají například metoda špičkového poměru signál šum PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) nebo metoda MSE (Mean Square Error), která je založena na měření střední kvadratické chyby. Metoda MSE měří rozdíl mezi referenčním a zkresleným obrazem [5].

2.3.2 DVQL-W

Jedná se o objektivní metriku měření kvality obrazu.

Metrika DVQL-W (Digital Video Quality Level – Weighted) je zejména díky lepší korelaci přesnější než metrika DVQL-U (Digital Video Level – Unweighted). Systém DVQL-W je založen na vyhodnocování informací z vektorů, které obsahují průměrné rozdíly mezi sousedními pixely bloků a makrobloků, jak je naznačeno na Obr. 2.3. Na tomto obrázku je zobrazen makroblok 16x16, přičemž je tento makroblok rozdělen na čtyři bloky (každý blok má velikost 8x8) [3].

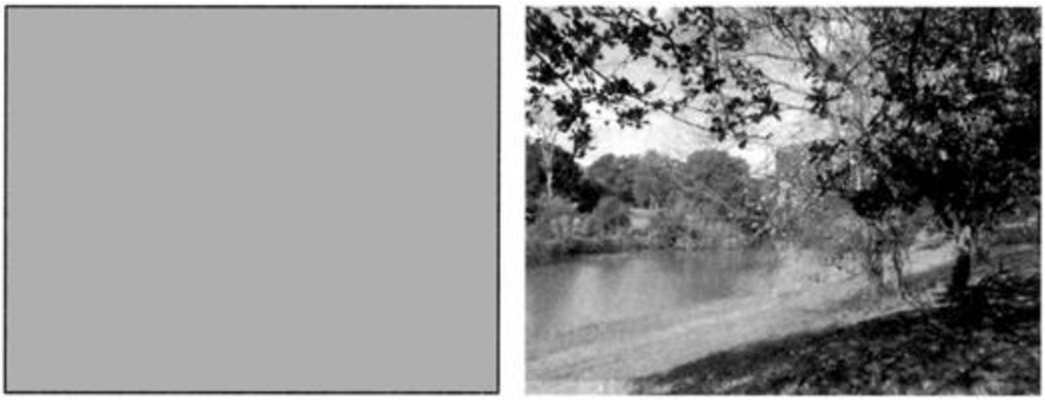
Této metody bylo využito v celé této práci. Metoda DVQL-W byla použita při měření kvality digitálního signálu v MPEG-2 TS v DVB-T.



Obr. 2.3 Vyhodnocování změn v sousedních pixelech (DVQ) (převzato z [3])

2.3.3 SA – Spektrální Aktivita

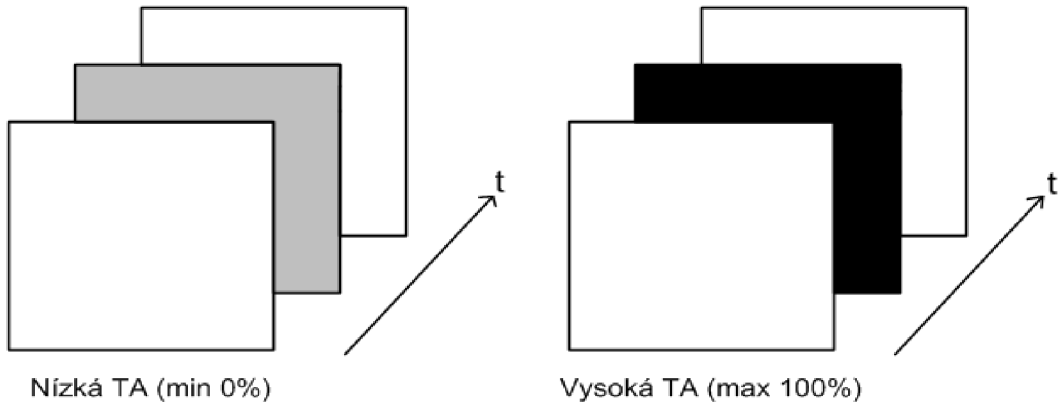
Spektrální aktivita (Spectral Activity) - neboli prostorová aktivita indikuje celkový obsah obrazu (viz. Obr. 2.4). Určuje množství obsažení jemných detailů v jednotlivých snímcích. Tyto detaily jsou tvořeny vyššími frekvencemi. Za výsledek prostorové aktivity může být považován průměrný rozdíl jasových složek signálu v celém snímku mezi sousedními pixely [3].



Obr. 2.4 Nízká (vlevo) a vysoká (vpravo) prostorová aktivita (převzato z [2])

2.3.4 Temporal Activity (TA)

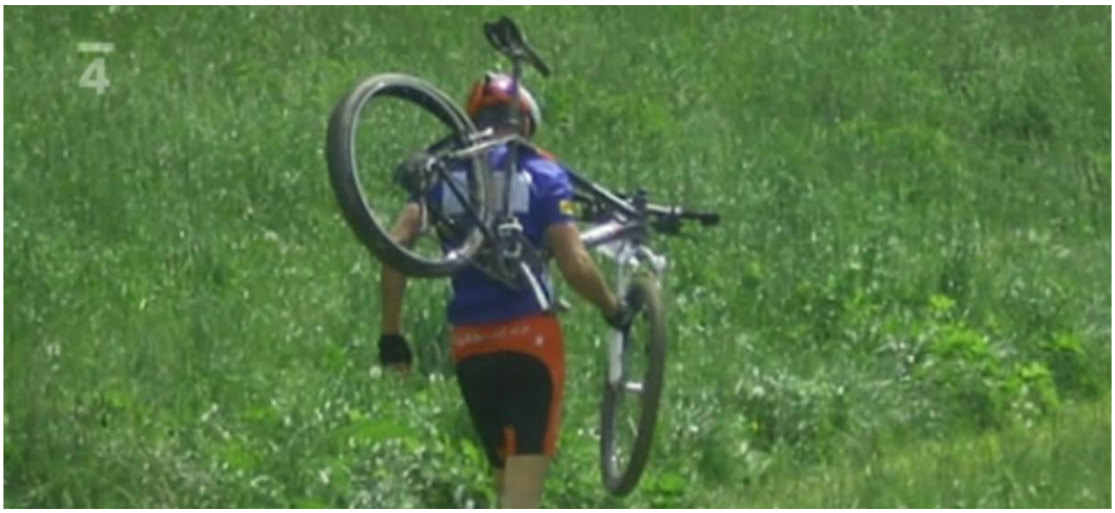
Temporal activity v překladu časová aktivita (viz. Obr. 2.5) indikuje změnu obrazu v po sobě jdoucích snímcích. Stupnice určená pro časovou aktivitu TA se pohybuje od 0 do 100% stejně jako stupnice pro prostorovou aktivitu SA. Obou hodnot 0 i 100% bylo dosaženo i při provedeném měření kvality obrazu, kde u některých obrazových scén bylo dosaženo maximální hodnoty (TA i SA=100%) a minimální (TA i SA=0%) [3].



Obr. 2.5 Nízká (vlevo) a vysoká (vpravo) spektrální aktivita (převzato z [3])

Obr. 2.6 Zachycení vysoké prostorové aktivity (SA=100%, TA=100%)

Na Obr. 2.6 je vidět nízká prostorová aktivita obrazu, která byla zachycena během měření. Tato scéna potvrzuje teorii, podle níž je prostorová aktivita rovna průměrnému rozdílu jasových složek v signálu mezi sousedními pixely. Nejen prostorová ale i časová aktivita je na uvažovaném obrázku rovna 100%. Což téměř potvrzuje i teoretické poznatky o časové aktivitě obrazu. Stav když je TA = 100% by měl podle teoretických poznatků nastat za stavu, kdy v po sobě jdoucích snímcích dochází v obrazu k největším změnám.



Obr. 2.7 Zachycení nízké prostorové aktivity (SA = 0%, TA = 0%)

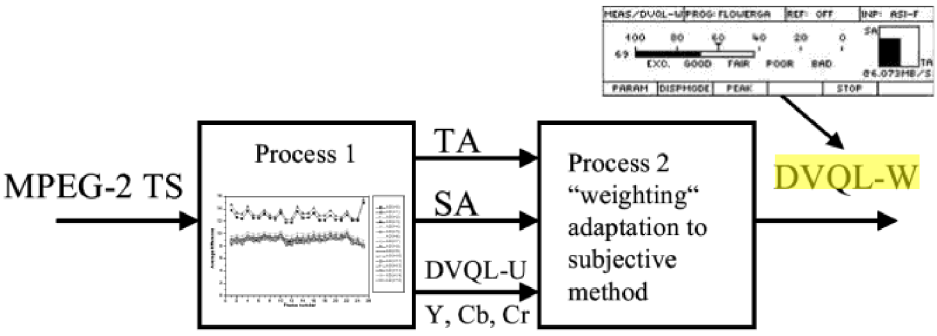
Výše na Obr. 2.7 je zobrazen snímek s nízkou prostorovou i časovou aktivitou (tento snímek byl zachycen při měření). Tato scéna potvrzuje teorii, podle které je prostorová aktivita rovna průměrnému rozdílu jasových složek v signálu mezi sousedními pixely. Jelikož je zde minimální změna mezi pixely, tak je i SA minimální. U časové aktivity je zde rovněž potvrzena teorie, u níž by stav TA = 0% měl podle teoretických poznatků nastat právě tehdy, když v po sobě jdoucích snímcích dochází v obrazu k minimálním až téměř žádným změnám. Podle teorie by měl být tento obraz v podstatě bez cyklisty. Potom by byla v praxi zcela splněna teorie o metrikách SA a TA.

Podrobnější analýza jednotlivých obrazových scén je v této práci provedena v kapitole 8.

2.3.5 DVQL-U

DVQL-U (Digital Video Level – Unweighted) je použita jako absolutní hodnota pro indikování přítomnosti blokových artefaktů ve zdrojovém obraze [5].

Systém DVQL-U je založen na měření rozdílů jedné jasové Y a dvou chrominančních Cb a Cr složek obrazu. Výsledkem kombinací DVQL-U s výše popsanými metrikami SA (2.3.3) a TA (2.3.4) je výše popsaná metoda DVQL-W (2.3.2) (viz. Obr. 2.8) [3].



Obr. 2.8 Proces analýzy digitálního analyzátoru kvality DVQ (převzato z [3])

3 POPIS POUŽITÝCH MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

3.1 Analyzátor kvality obrazu Rohde&Schwarz DVQ

Analyzátor kvality obrazu Rohde&Schwarz DVQ (Digital Video Quality) (Obr. 3.1) spolehlivě analyzuje kvalitu digitálního videosignálu. Tento analyzátor byl použit pro měření kvality v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. K měření a následnému vyhodnocování kvality obrazu analyzátor využívá subjektivní metody SSCQE. Výstupem jsou zejména výsledky metrik DVQL-U, DVQL-W, SA a TA.

Obr. 3.1 DVQ analyzátor kvality digitálního videosignálu Rohde&Schwarz (převzato z [6])

3.1.1 Použití DVQ

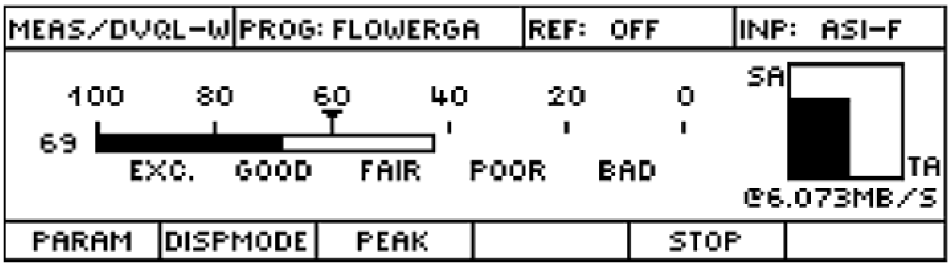
Měření v reálném čase. Referenční obraz není potřebný k vykonávání metody SSCQE, které analyzátor DVQ využívá. Dokáže monitorovat zamrznutí obrazu (picture freeze), ztráty obrazu (picture loss) a ztráty zvuku (sound loss). Umí dekódovat jednotlivé podprogramy MPEG-2 TS. Má zabudovaný MPEG-2 dekodér obrazu a zvuku. Umožňuje dlouhodobé zaznamenávání kvality, měření vnitřních událostí a chybové zprávy a statistiky. Obsahuje vstupní transportní tok MPEG-2 270 Mbit/s (TS ASI, TS PARALLEL). Měří datovou rychlost (DataRate), kvalitu obrazu (DVQL), prostorovou aktivitu (SA) a časovou aktivitu (TA) (viz. obr. 3.2) [6].

3.1.2 Práce s DVQ

DVQ lze ovládat ručně pomocí klávesnice z rychle-přístupné klávesy pro hlavní menu a pomocí softwarového tlačítka pro výběr podnabídek. Obsah měření je přehledně zobrazen na LCD, a dekódovaný obraz je vložen na video výstup [6].

3.1.3 Dálkové ovládání/kontrola DVQ

DVQ nabízí plnou schopnost dálkového ovládání přes RS232 nebo přes Ethernet rozhraní pomocí stejných příkazů v jazyce SCPI. Při použití rozhraní Ethernet, TCP/IP a SNMP jsou protokoly k dispozici. DVQ má vestavěné 32 Mbit paměti pro datový přenos. V závislosti na rychlosti přenosu dat přenášeného videa, paměť dostačuje pro ukládání obrazových dat o sekvenci cca. od 5 do 10 sekund. Sekvenci lze přečíst na vstupu hloubkové analýzy prostřednictvím jednoho z dálkového ovládání-rozhraní, například pomocí kvality Explorer ™ [6].



Obr. 3.2 Ukázka z měření metodou DVQL-W (převzato z [3])

3.2 MPEG-2 Measurement Decoder R&S DVMD

Tento analyzátor byl použit při měření chyb v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T.

Obr. 3.3 MPEG-2 měřící dekodér DVMD (převzato z [7])

MPEG-2 měřící dekodér DVMD (viz. Obr. 3.3) monitoruje a analyzuje MPEG-2 TS. Poskytuje komplexní informace o kvalitě transportního toku. Kombinace dekodéru a analyzátoru v jednom celku s tradiční operační koncepcí (i bez PC systému) je možné DVMD měření sledovat na digitální televizi. Je vhodný pro použití všude tam, kde MPEG-2 signály musí být kontrolovány. Realtime měření a současné hloubkové analýzy dávají extrémně rychle výsledky. DVMD je nepostradatelným nástrojem v oblasti rozvoje, řešení problémů i řízení kvality a výroby [7].

3.2.1 Analýza a dekódování MPEG-2 TS

MPEG2 transportní tok se obvykle skládá z několika programů, které mohou obsahovat video, audio a datové proudy. Přitom DVMD dekóduje video a audio z vybraného programu.

Měřící dekodér R&S DVMD patří do MPEG-2 (normy DVB a ATSC). Poskytuje vše, co je potřebné pro spolehlivou manipulaci s novou technologií. Jeho speciální funkce měří s velkou přesnosti, a potom může být řečeno, že žádná chyba nezůstane bez povšimnutí. DVMD se zároveň oproti jiným přístrojům R&S snadno ovládá a rovněž patří mezi přenosné přístroje. R&S DVMD tedy vykonává analýzy a sleduje MPEG-2 přepravní toky pro DVB a ATSC normy [7].

Má k dispozici software (PC Software Stream ExplorerTM) pro důkladnou analýzu až na úrovni bitů, který rovněž umí provést integraci R&S DVMD do sítě monitorovacích systémů.

3.2.2 Vlastnosti R&S DVMD

- 25 DVB nebo 18 ATSC
- Vykonává práci analyzéru a dekodéru
- Analýza rychlosti přenosu dat
- Měří a zaznamenává chyby měření funkce (měřeného obrazového signálu)
- Integruje dlouhý interval výkonu funkce
- Výsledky zobrazuje na displeji video monitoru
- Je schopný vykonávat měření pro všechny úrovně a rozlišení (SDTV a HDTV) [7]

Prakticky totožné měření jako pomocí dekodéru DVMD může být provedeno například pomocí dále popsaného softwaru MPEG-2 Realtime Monitor (viz. kapitola 4.1).

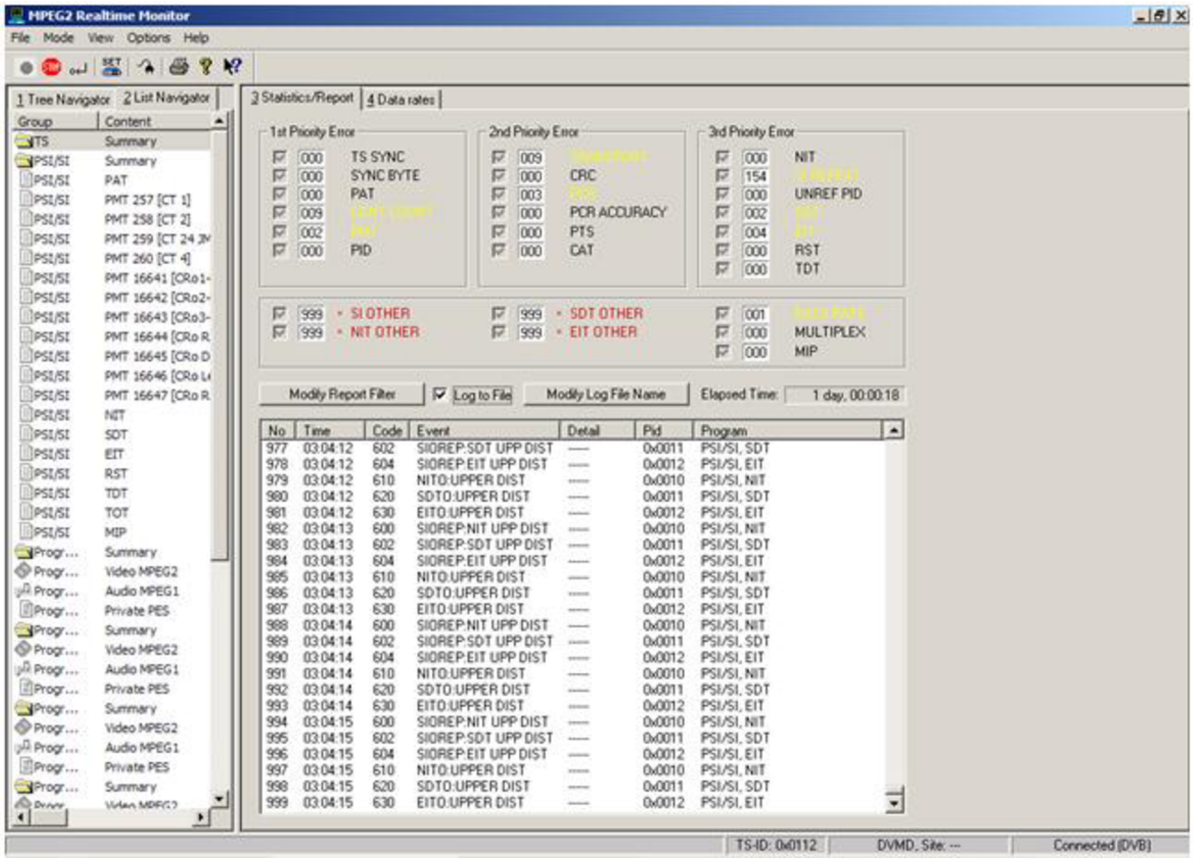
4 POPIS POUŽITÉHO MĚŘÍCÍHO SOFTWARU

4.1 MPEG-2 Realtime Monitor

Tohoto softwaru bylo využito k měření kvality obrazového signálu MPEG-2 TS při příjmu DVB-T (viz. kapitola 7), ve které jsou zaznamenány výsledky měření výskytu chyb v obrazovém signálu.

MPEG-2 Realtime Monitor (viz. Obr. 4.1) poskytuje informace o četnosti výskytu a délky trvání různých typů chyb v průběhu měření. Zaznamenává stejně jako výše popsaný dekodér DVMD chyby. První, druhé a třetí priority. Mezi chyby první priority se řadí mimo jiné i TS SYNC - což je chyba synchronizace transportního toku, SYNC BYTE – synchronizace bytů [7].

Při měření bylo využito konkrétně této verze programu: MPEG-2 Realtime Monitor, Version 03.00.



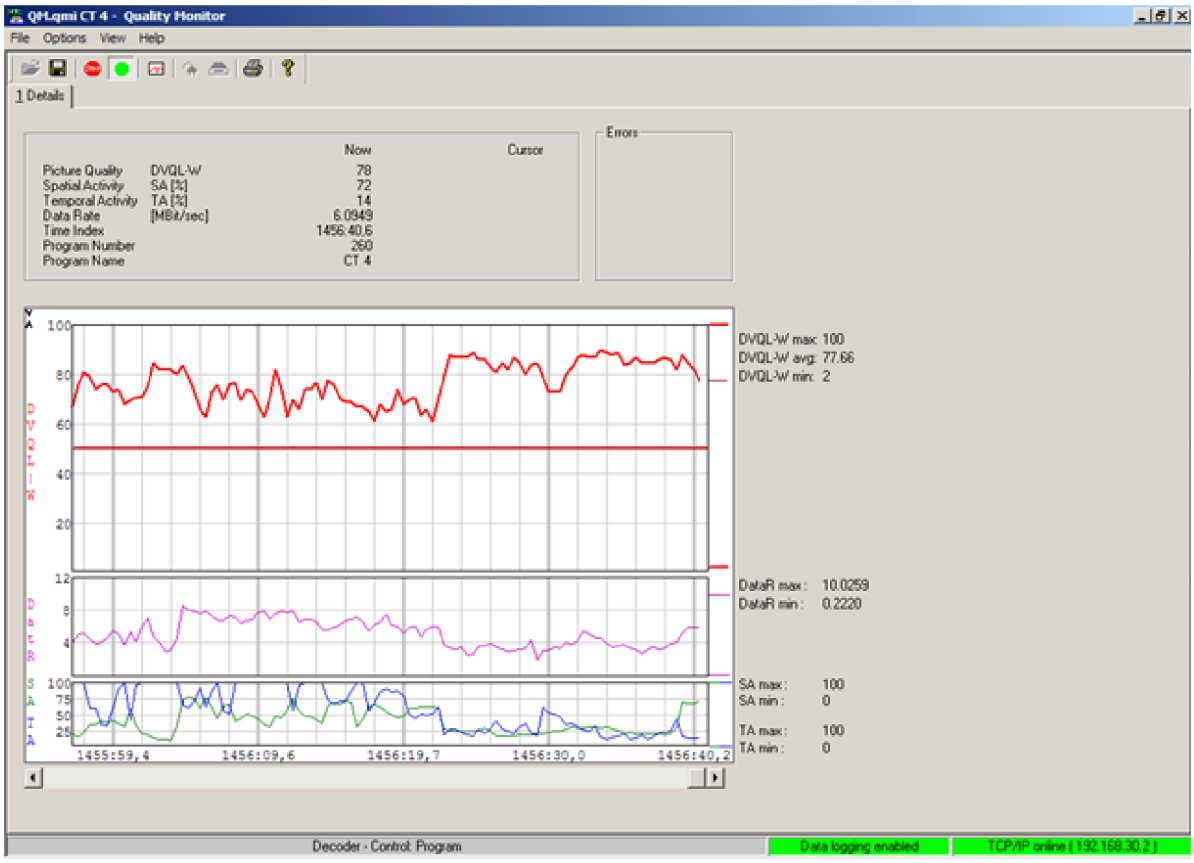
Obr. 4.1 Ukázka prostředí programu MPEG-2 Realtime Monitoru

4.2 Quality Monitor

Tohoto softwaru bylo v práci využito k měření kvality obrazového signálu MPEG-2 TS při příjmu DVB-T.

Quality Monitor umožňuje ovládání analyzátoru DVQ a zaznamenává naměřené hodnoty. Metodou DVQL-U nebo DVQL-W vyhodnocuje kvalitu obrazu. Měří velikost datového toku MPEG-2 TS (DataRate), časovou (TA) a prostorovou aktivitu (SA).

Změřené výsledky je možno uložit do formátu „csv“ nebo „doc“, které je možno importovat do programu Microsoft Office Excel 2007, který tento formát přečte, a tudíž je možné naměřené výsledky dále zpracovávat. Ukázka měření v programu Quality Monitor je zobrazena na Obrázku 4.2.



Obr. 4.2 Ukázka měření kvality obrazového signálu pomocí programu Quality Monitor

5 DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTRIAL (DVB-T)

DVB-T je standard digitálního televizního vysílání přes pozemní vysílače.

MPEG-2 je pro šíření televizního signálu zemským prostředím ve spoustě zemí je nejrozšířenější a zároveň však nejkomplikovanější, obsahuje standard DVB-T a speciální modulační metodu OFDM, a také dvě proti chybové ochrany. S těmito prostředky dosahuje zemská digitální televize vynikajících výsledků [8].

V současné době se díky uděleným licencím provozují čtyři multiplexy v DVB-T. Multiplex 1 obsahuje veřejnoprávní televizní stanice České televize (ČT1 ČT2 ČT24 ČT4) a veřejnoprávní rádia. Multiplex 2 obsahuje velké komerční televize (Nova, Nova Cinema, Prima, Prima COOL) a TV Barrandov. Maximální nabídku Multiplexu 3 tvoří programy TV Noe Prima HD Z1 Public TV a v jeho nabídce je i rádio Proglas. A poslední multiplex 4 obsahuje programy CT1-HD, Nova-HD, Óčko, O2 Info.

5.1 Standard DVB-T

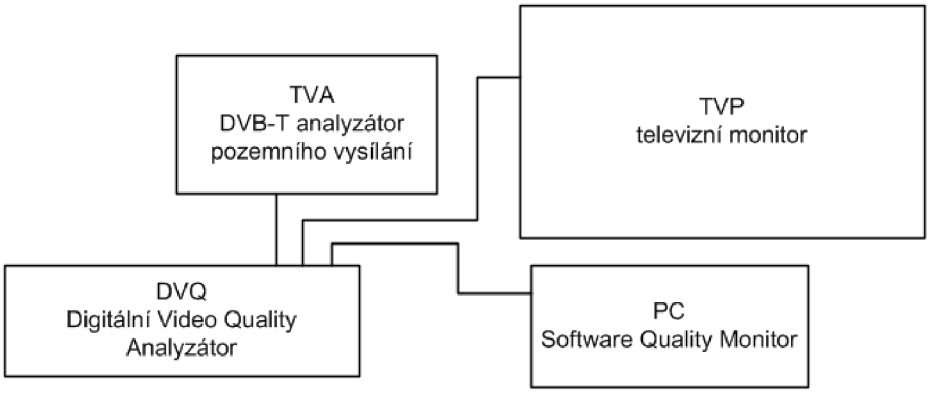
- velký vysílací výkon, úzký kmitočtový kanál do 8 MHz, výrazný vliv rušení (zejména odrazy a mezi symbolové přeslechy ISI), velká chybovost
- MPEG-2 kódování videa a audia (budoucnost v MPEG-4 AVC a MPEG-2 AAC)
- FEC1 (vnější ochranný Reed-Somolův kód) a FEC2 (vnitřní konvoluční kódování), interleaving vnější i vnitřní
- Modulace OFDM – mód 2k (1705 nosných) a 4k (6817 nosných), malá citlivost vůči mnohacestnému šíření signálu, použití ochranného intervalu zamezuje vícenásobnému příjmu
- Jedno frekvenční síť vysílačů – SFN (Single Frequency Network) [2]

5.2 Porovnání DVB-T s jinými standardy DVB

Pozemní neboli terrestriální digitální televize je z hlediska šíření elektromagnetických vln v zemském prostředí nejsložitější a nejobtížnější. Oproti jiným standardům DVB nevyžaduje DVB-T pevné stanoviště. DVB-S vyžaduje stálou orientaci a DVB-C vyžaduje pevné spojení s kabelem [13].

6 MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH PROGRAMŮ ZE SÍTĚ 1 A 2

V této kapitole byly provedeny měření parametrů a kvality obrazového signálu, při nichž bylo vycházeno z návodů laboratorních úloh č. 7. a 8. předmětu Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). Blokové zapojení úlohy č. 8. je zobrazeno na Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Blokové schéma zapojení pro měření kvality digitálního obrazu video signálu

6.1 Analýza pomocí analyzátoru DVQ

Pomocí analyzátoru DVQ byla provedena podrobná analýza programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS. Byly změřeny zejména údaje o jednotlivých programech transportního toku. Byly proměřeny všechny programy televizního vysílání v multiplexu 1 a multiplexu 2. (viz. Tab. 6.1 a 6.2).

Tab. 6.1 Analýza programového obsahu multiplexu 1

	ČT1 JM	ČT2	ČT24	ČT4
CONTROL				
program ID	257	258	259	260
video PID	257	513	769	1025
audio PID	273	529	785	1041
INFO				
Počet snímků za sekundu [Hz]	25	25	25	25
HOR size/pix	720	720	720	720
VERT size/pix	576	576	576	576
MPEG	LAYER II	LAYER II	LAYER II	LAYER II
Režim kódování	STEREO	STEREO	STEREO	STEREO
Vzorkovací frekvence [kHz]	48	48	48	48
Bitová rychlost [Mb/s]	0.192	0.192	0.192	0.192

Tab. 6.2 Analýza programového obsahu multiplexu 2

	Nova	Nova-cinema	Prima	Prima-COOL	Baranndov
CONTROL					
program ID	513	514	769	770	2049
video PID	101	401	201	501	301
audio PID	111	411	211	511	311
INFO					
Počet snímků za sekundu [Hz]	25	25	25	25	25
HOR size/pix	720	720	720	720	720
VERT size/pix	576	576	576	576	576
MPEG	LAYER II	LAYER II	LAYER II	LAYER II	LAYER II
Režim kódování	STEREO	MONO	STEREO	STEREO	STEREO
Vzorkovací frekvence [kHz]	48	48	48	48	48
Bitová rychlost [Mb/s]	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192

Pro multiplex 1 byly naměřeny tyto hodnoty: identifikační čísla ID jednotlivých programů, Video PID a Audio PID. Dále počet snímků za sekundu, který měl u všech programů multiplexu 1 hodnotu 25 Hz stejně jako druh kódovacího módu (stereo) a rozměry obrazu (720x576). Všechny měřené programy multiplexu 1. měly rovněž stejnou vzorkovací frekvenci 48 kHz a bitovou rychlost 0.192 Mb/s.

Pro multiplex 2 byly naměřeny prakticky stejné hodnoty jako u multiplexu 1. Jedná se o hodnoty počtu snímků za sekundu, rozměry obrazu 720x576 a vzorkovací frekvence, jejichž hodnoty jsou stejné pro všechny měřené programy z obou multiplexů 1. a 2.

6.2 Analýza pomocí analyzátoru DVQ a programu Quality Monitoru

Pomocí analyzátoru DVQ a programu Quality Monitor byla provedena podrobná analýza kvality obrazu programů v hodnoceném transportním toku MPEG-2 TS. Jednalo se zejména o údaje metrik DVQL-U, DVQL-W, SA, TA a DataRate jednotlivých programů transportního toku. Přičemž metrika DVQL-W měří samotnou hodnotu kvality obrazu videa, prostorová aktivita informuje o členitosti obrazu a časová aktivita o časové aktivitě signálu obrazu, veličina DataRate udává hodnotu velikosti datové rychlosti transportního toku MPEG-2 TS (viz. Tab. 6.3, 6.4, 6.5 a 6.6).

Jednalo se o krátkodobá měření (cca 10 min na každý program), jejichž cílem bylo analyzovat kvalitu a parametry všech televizních programů z multiplexů 1. a 2.

Tab. 6.3 Analýza kvality obrazu multiplexu 1. – metoda DVQL-U

	ČT1 JM	ČT2	ČT24	ČT4
MEAS				
TS	21.600	21.600	21.600	21.600
VIDEO	2.683	3.716	3.005	2.592
AUDIO	0.204	0.203	0.100	0.203
DETAILS				
DVQL-U(Y)	87/87%min	60/60%min	84/84%min	71/64%min
DVQL-U(Cb)	94/93%min	80/79%min	90/90%min	88/83%min
DVQL-U(Cr)	95/94%min	78/78%min	89/89%min	88/84%min
SA[%]	22	44	69	93
TA[%]	17	84	30	15
DISPMODE				
Y	86	77	87	97
CB	94	92	96	96
CR	95	91	96	96

Tab. 6.4 Analýza kvality obrazu multiplexu 2. – metoda DVQL-U

	Nova	Nova-cinema	Prima	Prima-COOL	Baranndov
MEAS					
TS [Mbit/s]	21,599	21,599	21,600	21,600	21,599
VIDEO [Mbit/s]	2,455	2,492	5,201	3,520	2,684
AUDIO [Mbit/s]	0,204	0,203	0,1	0,203	0,203
DETAILS					
DVQL-U(Y)	85/75%min	77/69%min	71/69%min	64/64%min	85/73%min
DVQL-U(Cb)	93/95%min	92/90%min	88/86%min	85/81%min	96/96%min
DVQL-U(Cr)	94/91%min	92/88%min	91/89%min	88/84%min	97/96%min
SA[%]	12	12	22	30	24
TA[%]	18	51	23	7	1
DISPMODE					
Y	84	61	70	57	86
CB	93	89	86	85	93
CR	93	89	88	92	93

Programem Quality Monitor byla provedena analýza kvality obrazu programů multiplexu 1. a 2. v hodnoceném transportním toku MPEG-2 TS. (viz. Tab. 6.5 a 6.6). Metrikou DVQL-U byly změřeny hodnoty kvality jedné jasové složky Y signálu a dvou chrominančních složek CB a CR. Byla zde provedena i kontrola datových toků celého TS (21.6 Mbit/s) a video, audio toků každého programu.

Tab. 6.5 Analýza kvality obrazu multiplexu 1. – metoda DVQL-W

Prog. Name	ČT1 JM	ČT2	ČT24	ČT4
	Picture Quality DVQL-W [%]			
DVQL-Wmax	95	96	94	91
DVQL-Wavg	85.41	79.33	87.39	72.72
DVQL-Wmin	71	46	58	48
	Data Rate [Mbit/s]			
Data Rate-max [Mbit/s]	5.8280	7.7839	4.5819	8.2230
Data Rate-max[Mbit/s]	1.3720	0.8530	1.2509	2.1219
	SA (Spectral Aktivity) [%]			
SA-max [%]	38	68	85	100
SA-min [%]	11	2	38	13
	TA (Temporal Activity) [%]			
TA-max[%]	100	100	56	100
TA-min[%]	2	0	1	2

Tab. 6.6 Analýza kvality obrazu multiplexu 2. – metoda DVQL-W

Prog. Name	Nova	Nova-cinema	Prima	Prima-COOL	Baranndov
	Picture Quality DVQL-W [%]				
DVQL-Wmax	91	95	97	88	90
DVQL-Wavg	84.86	86.10	78.56	74.03	78.62
DVQL-Wmin	71	69	63	59	67
	Data Rate [Mbit/s]				
Data Rate	7,567	6.0410	5.6669	5.1299	4.5640
Data Rate	1,77	2.0449	1.6610	1.9680	2.4359
	Spectral Activity SA [%]				
SAmax	100	31	50	38	95
SAmin	0	3	0	12	87
	Temporal Aktivity TA [%]				
TAmax	100	100	100	78	4
TAmin	2	4	0	1	0

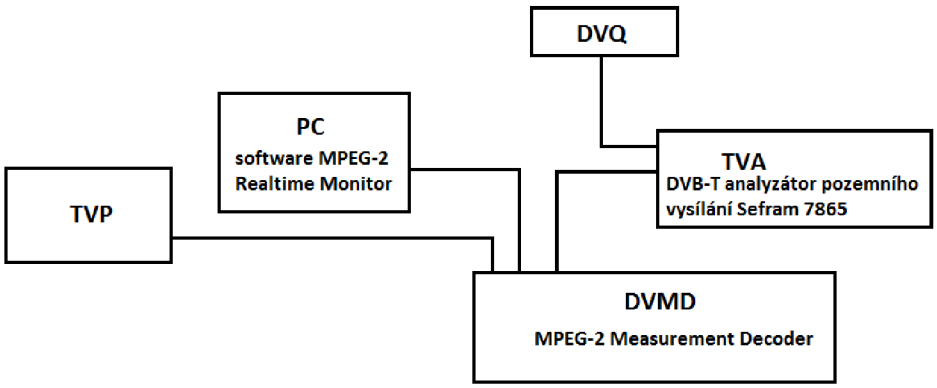
V tabulkách 6.5 a 6.6 jsou zaznamenány hodnoty kvality měřené metrikami DVQL-W, SA a TA. Je zde měřena i datová rychlost DataRate.

V této kapitole bylo popsáno základní orientační měření kvality transportního toku MPEG2-TS při příjmu z vysílacích sítí multiplexu 1 a multiplexu 2. Obsahuje informace o MPEG-2 TS, zaznamenává datové toky jednotlivých programů, identifikátory Video-PID a Audio-PID. Byla zde změřena prostorová (SA) a časová aktivita (TA). Jsou zde uvedeny hodnoty datové rychlosti (DataRate) a obrazové kvality měřené metrikou DVQL-W.

Na tyto měření navazuje měření kvality v kapitolách 7 a 8, v nichž jsou podrobně popsány získané výsledky z dvacetičtyhodinových měření.

6.3 Měření výskytu chyb v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T

Při monitorování chyb v krátkém časovém intervalu programů multiplexu 1. a 2. bylo vycházeno z návodu laboratorní úlohy č. 7. předmětu Digitální televizní a rozhlasové systémy**.** Pro toto měření bylo použito schéma zapojení uvedené na Obr. 6.2.



Obr. 6.2 Blokové schéma zapojení pro měření výskytu chyb v digitálním obrazu

6.4 Informace o transportním toku MPEG-2 TS

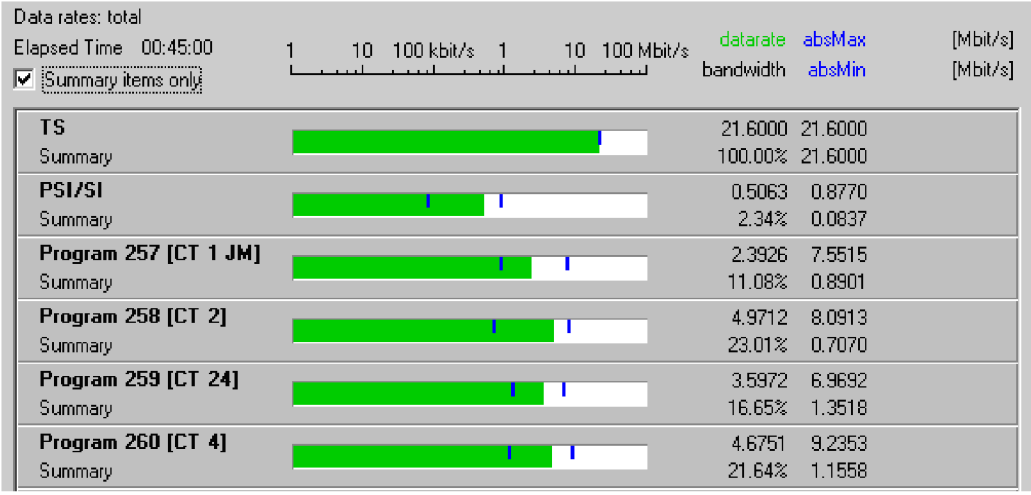
Pomocí výše popsaného dekodéru DVMD byly na zobrazovacím zařízení změřeny (na televizní obrazovce) informace o transportním toku MPEG-2 TS (transportní tok TS v Mbit/s, datový tok v Mbit/s, identifikátor programů PID) (viz. Tab. 6.7).

Tab. 6.7 Dostupné informace o transportním toku MPEG-2 TS multiplexu 1. a 2.

ID	NAME	ELEMENT	TS ID	datový tok [Mbit/s]
Prog. multiplexu 1				
257	CT1 JM	Vado	274	3.472
258	CT2	VAd	274	3.400
259	CT24	VAd	274	3.472
260	CT4	VAd	274	3.806
Prog. multiplexu 2				
513	NOVA	VAd	514	3.005
514	NOVA CINEMA	VAd	514	3.757
769	PRIMA	VAd	514	2.975
770	PRIMA COOL	VAd	514	3.189
2049	BARRANDOV	VAd	514	5.436

6.5 Analýza MPEG-2 TS pomocí MPEG-2 Realtime Monitoru

Zde byla provedena analýza datových toku multiplexu 1. a 2. Při měření bylo použito výše popsaného softwaru MPEG-2 Realtime Monitor (viz. kapitola 4.1). Z naměřených výsledků lze navíc vyčíst maximální a minimální hodnot rychlosti datového toku (viz. Obr. 6.3, Tab. 6.8 a 6.9).



Obr. 6.3 Ukázka z měření datových toků multiplexu 1 v čase 45 min

Tab. 6.8 Datové toky multiplexu 1 zaznamenané z měřeného intervalu 30 min.

Síť	**Programy a parametry**	**datarate [Mbit/s]**	**absMax [Mbit/s]**
		bandwidth [%]	**absMin [Mbit/s]**
Multiplex 1	**TS**	21.600	21.600
		100%	21.600
	PSI/SI	0.5639	0.8770
		2.61%	0.0837
	Program 257 - ČT1 JM	3.7754	6.4589
		17.48%	1.6019
	Program 258 - ČT2	4.7293	8.0913
		21.89%	0.7070
	Program 259 - ČT24	2.3874	6.49
		11.05%	1.6961
	Program 260 - ČT4	5.82	9.0044
		25.18%	1.1558

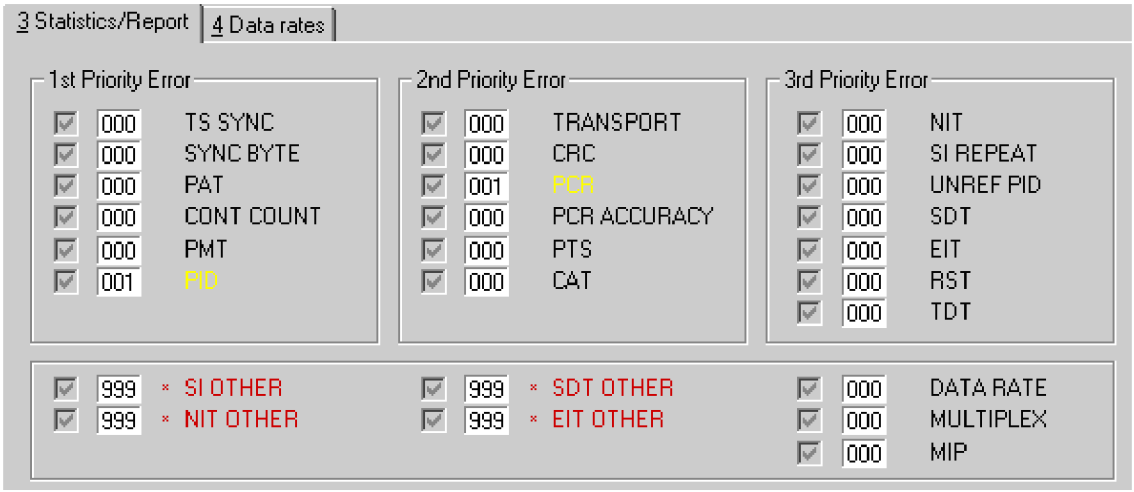
Tab. 6.9 Datové toky multiplexu 2 zaznamenané z měřeného intervalu 30 min.

Síť	Programy a parametry	datarate [Mbit/s]	absMax [Mbit/s]
		bandwidth [%]	absMin [Mbit/s]
Multiplex 2	TS	21.600	21.600
		100%	21.600
	PSI/SI	0.3393	0.3862
		1.57%	0.2491
	Program 513 [NOVA]	4.0188	7.3863
		18.61%	2.3635
	Program 514 [NOVA CINEMA]	5.5482	7.2933
		25.69%	2.2875
	Program 769 [PRIMA]	2.7049	7.5485
		12.52%	1.3877
	Program 770 [PRIMA COOL]	2.9892	7.6226
		13.84%	1.2313
	Program 2049 [Barrandov]	3.4386	7.4666
		15.92%	2.3586

Datový tok multiplexů 1. a 2. má konstantní hodnotu 21,6 Mbit/s. Suma PSI/SI obsahuje jednotlivé informační a datové sloužící pro přenos signálu (PMT, CAT, NIT, SDT, EIT, TDT, TOT, MPI). Podrobnější popis datových toků je uveden v kapitole 7.7.

6.6 Naměřené chyby v MPEG-2 TS

V tomto bodě bylo provedeno monitorování chyb transportního toku MPEG-2 TS. Byly zde změřeny chyby priorit (1., 2. a 3.). Analýza byla provedena softwarem MPEG-2 Realtime Monitor (viz. obr. 6.4).



Obr. 6.4 Chyby naměřené dekodérem DVMD po dobu 45 minut (program NOVA)

Podrobnější analýza výskytu chyb v transportním toku je uvedena v kapitole 7.2, která popisuje podmínky vzniku všech chyb naměřených během pěti dvacetičtyřhodinových měření.

6.7 Závěr z krátkodobého měření kvality a chyb multiplexu 1. a 2.

Byla zde provedena kontrola datových toků, krátkodobé měření kvality a chyb multiplexu 1. a 2., dále podrobná analýza programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS. Jednalo se zejména o data informující o programech TS. Dále zde byla krátkodobým měřením provedena analýza programů v hodnoceném TS. Jednalo se o měření pomocí v teoretické části popsaných metrik DVQL-U, DVQL-W, SA a TA.

Tyto metriky se mění dynamicky v čase, což je podrobněji proměřeno v kapitole 8 (při analýze vlivu typu scény na kvalitu obrazu videa).

Výše provedené měření se stalo základem pro vytvoření nového pracoviště, na kterém lze provést změření a analýzu všech výsledků uvedených v kapitole 6. Nové pracoviště slučující úlohy měření chyb a kvality se později stalo základem pro tvorbu nové laboratorní úlohy určenou pro předmět Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV), (viz. Příloha A).

7 MĚŘENÍ A VÝSLEDKY

V druhé části této práce bylo provedeno pět dvacetičtyřhodinových měření. Tato měření probíhala na nově sestaveném pracovišti, které umožňuje současné monitorování chyb a měření kvality obrazu jednotlivých programů transportního toku MPEG-2 TS při příjmu DVB-T. Zapojení pracoviště je zobrazeno v příloze, v níž je navržena nová laboratorní úloha (viz. Příloha A).

Pro dlouhodobá měření byly vybrány programy ČT1 (multiplex 1), Prima (multiplex 2), ČT4 (multiplex 1), Nova (multiplex 2) a ČT24 (multiplex 1), (viz. Tab. 7.1). Měření probíhala v termínech uvedených v Tabulce 7.1. Datum a typ daných měření byl vybrán v závislosti na programovém obsahu, na počasí a na typu multiplexu 1. nebo 2.

Tab.7.1 Datum jednotlivých 24 hodinových měření programů ze sítí multiplexu 1. a 2.

Program	Začátek měření	Konec měření	Síť	Typ měření
ČT1	út 15. 3. 2011 (14:30)	st 16. 3. 2011 (14:30)	Multiplex 1	24 hod
PRIMA	út 22. 3. 2011 (14:15)	st 23. 3. 2011 (14:15)	Multiplex 2	24 hod
ČT4	út 5. 4. 2011 (14:45)	st 6. 4. 2011 (14:45)	Multiplex 1	24 hod
NOVA	út 12. 4. 2011 (14:20)	st 13. 4. 2011 (14:20)	Multiplex 2	24 hod
ČT24	út 26. 4. 2011 (14:25)	st 27. 4. 2011 (14:25)	Multiplex 1	24 hod

Tab. 7.2 Parametry multiplexu 1. a 2.[9], [10]

Parametry multiplexu 1 (sítě 1.)		Parametry multiplexu 2 (sítě 2.)	
Šířka pásma	8 MHz	**Šířka pásma**	8 MHz
Vysílací mód	8K	**Vysílací mód**	8K
Ochranný interval	1/4	**Ochranný interval**	1/4
Kódový poměr	2/3	**Kódový poměr**	2/3
Modulace	64 QAM	**Modulace**	64 QAM
Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s	**Celková bitová rychlost**	19,10 Mbit/s
Hierarchický bod	ne	**Hierarchický bod**	ne

V Tab. 7.2 jsou popsány parametry multiplexu 1. a 2. Oba multiplexy mají stejnou šířku pásma 8 MHz, vysílací mód 8 K, ochranný interval 1/4 a kódový poměr 2/3. Multiplexy 1. a 2. využívají stejnou digitální modulaci 64 QAM. Celkový datový tok (celková bitová rychlost) má hodnotu 19,10 Mbit/s [9],[10].

Vysílací mód 8K je charakteristický počtem aktivních nosných 6817, užitečnou symbolovou periodou ts = 896 ms a odstupem okrajových nosných 7,61MHz [11].

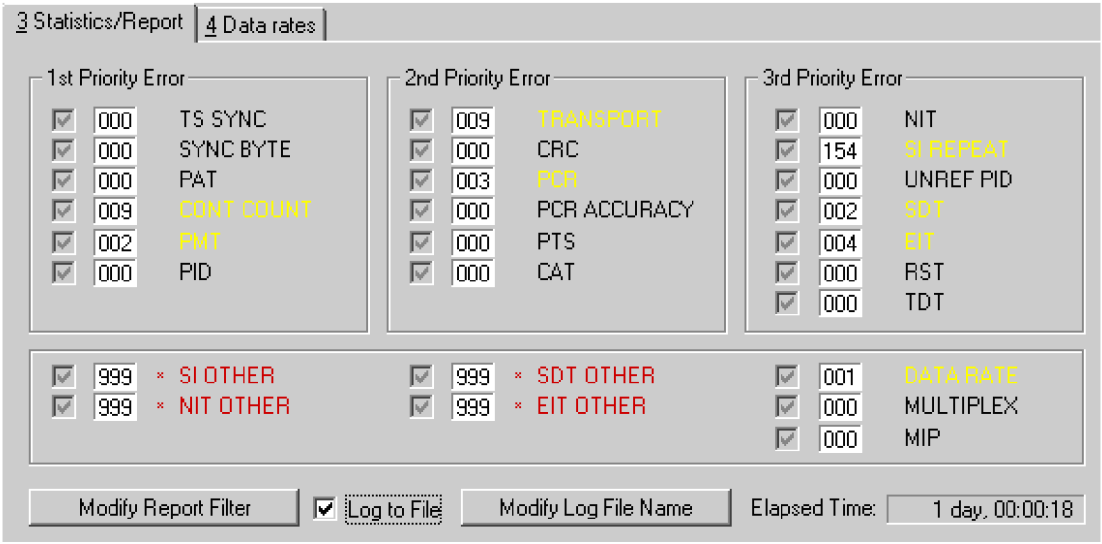
Multiplex 1 obsahuje čtyři televizní kanály a je v něm zahrnuto i rádiové vysílání. Obsahuje například rádia CRo2-Radioz, CRo2-Praha, CRo3-Vltava, CRo Radio W a další. Dvacetičtyřhodinovými měřeními byly proměřeny tři programy – ČT1, ČT4 a ČT24. U měření multiplexu 1 byla použita anténa TechniSat (pro příjem pozemního televizního signálu DVB-T). Měření probíhala na kmitočtu 529 MHz (kanál 29). Bylo využito vysílače

Brno Kojál s výkonem 100 kW a horizontální polarizací [10].

Multiplex 2 obsahuje pět televizních kanálů, z nichž byly prostřednictvím dvacetičtyřhodinového měření proměřeny programy televize Nova a Prima. Při měření byly tyto programy měřeny na kmitočtu 626 MHz (kanál 40). Bylo využito vysílače Brno Kojál s výkonem 100 kW a s horizontální polarizací. Nastavení bylo provedeno na DVB-T analyzátoru pozemního vysílání Sefram 7865 [9].

7.1 Parametry naměřených chyb

Cílem této kapitoly je popis vzniku chyb, které byly naměřeny dvacetičtyřhodinovými měřeními. Je zde popsán vliv chyb první, druhé a třetí priority na transportní tok a na jeho dekódování.



Obr. 7.1 Chyby multiplexu 1. naměřené programem MPEG-2 Realtime Monitor - při současném měření kvality programu ČT4.

7.2 Chyby první priority

Mezi chyby první priority jsou řazeny chyby, při jejichž vzniku není možné dekódovat transportní tok nebo programy [8].

7.2.1 Chyba kontinuity (Count Count,Priorita 1)

Chyba kontinuity nastane jestliže:

- stejný paket TS byl předán více než dvakrát bez kontinuity
- když naopak chybí paket TS (inkrementace čítače 2 x) bez indikace diskontinuity
- zcela chybná posloupnost paketů, nespojitosti paketů bez indikace diskontinuity [8].

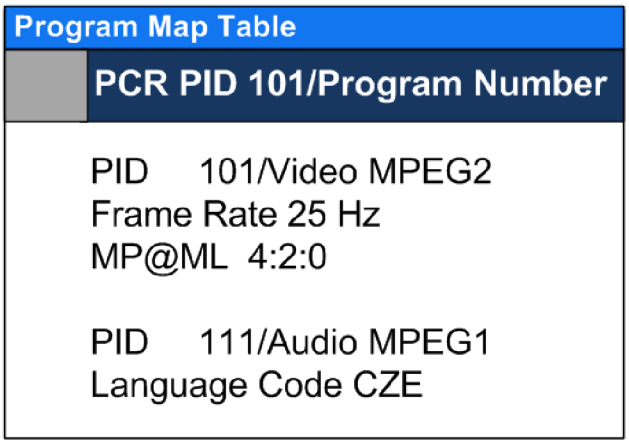
7.2.2 Chyba Program Map Table (PMT_Error)

Program Map Table je tabulka uvedená v PAT. Slouží k detailnímu popisu programu.

Příklad hodnot uvedených v tabulce PMT je uveden na Obr. 7.2.

Chyba PMT může nastat za tří různých stavu:

- jestliže index tabulky PMT není roven 0x02 (Table ID)
- je-li PMT skramblována
- není-li Tabulka PMT zopakována do 500ms [8].



Obr. 7.2 Příklad informací Program Association Table (PMT) zachycených na DVB-T analyzátoru pozemního vysílání (TVA).

7.2.3 Chyba PID (PID_Error)

Pro dekódování a identifikaci programu je potřebné PID, jež je obsaženo v Tabulce PMT (viz. Obr. 7.2).

Chyba PID nastane jestliže:

- interval mezi dvěma stejnými PID je menší než max. 500ms
- paket transportního toku s PID ukazující do PMT není obsažený v TS [8].

7.3 Chyby druhé priority

Mezi chyby druhé priority řadíme chyby, při jejichž vzniku je částečně nemožné dekódovat transportní tok. U těchto chyb dochází k chybné reprodukci programů [8].

7.3.1 Chyba_Přenosu (Transport_Error)

Druhý byte záhlaví paketu obsahuje tzv. Transport_Error_Indicator, jež nese informaci o chybě následujícího paketu. Ke generaci tohoto ukazatele se používá Reed-Solomonův dekodér [8].

Chyba přenosu nastane:

- když je Transport_Error_Indicator nastaven v záhlaví paketu [8].

7.3.2 Cyclic Redundancy Check Error (CRC_Error)

Při přenosu se na konec každé tabulky (PAT, CAT, PMT, NIT, EIT, SDT, BAT nebo

TOT) vkládá zabezpečující cyklický součet CRC. Tohoto zabezpečujícího součtu je využíváno při kontrole na konci vysílacího a přijímacího řetězce.

Chyba Cyclic Redundancy nastane:

- jestliže se v jakékoliv z tabulek (PAT, PMT, CAT, NIT, EIT, SDT, BAT, nebo TOT) objeví chybný cyklický součet CRC [8].

7.3.3 Program Clock Reference Error (PCR_Error)

Pro každý program transportního toku je přenášena hodnota kódovaného systémového času, jež je obsažen v tabulce PMT. V PMT jsou zobrazeny všechny programy obsahující PCR (Program Clock Reference).

PCR_Error nastane když:

- u jednoho programu je rozdíl dvou po sobě následujících hodnot PCR větší než 100ms

PCR_Accuracy_Error nastane když:

- PCR neodpovídá toleranci ± 500ns [8].

7.3.4 Presentation Time Stamp Error (PTS_Error)

Chyba se objeví když:

- časový odstup mezi dvěma hodnotami PTS daného programu je větší než 700ms [8].

7.4 Chyby třetí priority

Mezi chyby třetí priority jsou řazeny chyby v doplňkových a servisních informacích IS. Tyto chyby pouze informují o chybách v doplňkových informacích při vysílání a nemají žádný podstatný vliv na přenos televizního signálu [8].

7.4.1 Service Information Repetion Rate Error (SI_Error)

Chyba se objeví když:

- časový interval mezi tabulkami servisních informací je příliš dlouhý nebo naopak příliš krátký [8].

7.4.2 Nedefinovaný PID (Unreferenced_PID)

Chyba se objeví když:

- paket s neznámým identifikátorem je součástí TS a v tabulce PMT nemá identifikátor [8].

7.4.3 NIT, SDT, EIT, RST_Error

Jedná se o servisní informace obsahující přídavná data multiplexu. Obsahují čas, datum, popis TV programu, aj [3].

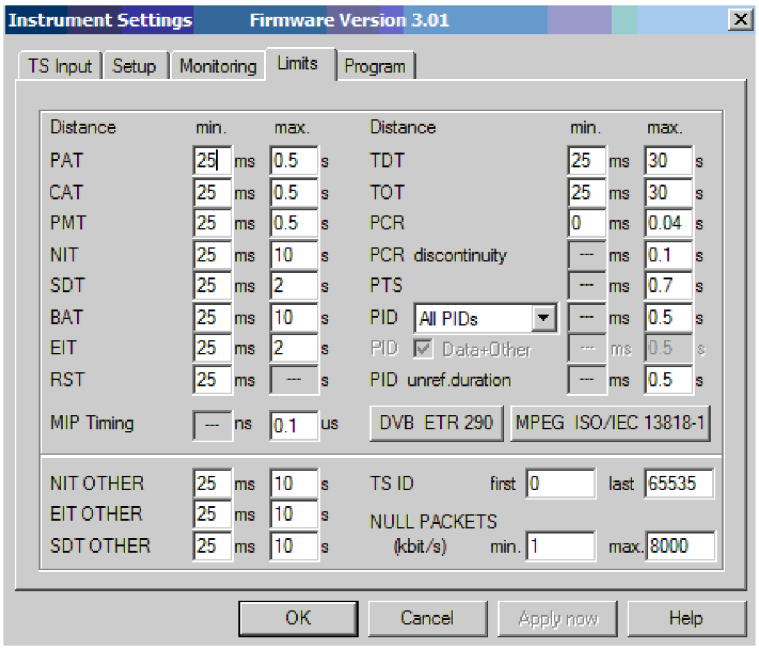
Chyba NIT, SDT, EIT, RST nebo TDT_error za stavu, když:

- je paket obsažen v TS, ale má chybnou TABLE_ID

- je-li časový interval mezi IS Tabulkami příliš dlouhý (Upper distance) [8].

7.5 Nastavení programu MPEG-2 Realtime Monitor

Na Obr. 7.3 je zobrazeno nastavení chyb používané u dvacetičtyřhodinových měření. Toto nastavení odpovídá normám i výše popsanému vzniku chyb.



Obr. 7.3 Nastavení indikací chyb u provedených měření MPEG-2 TS (multiplexu 1. a 2.)

7.6 Chyby měřené programem MPEG-2 Realtime Monitor

K měření chyb bylo stejně jako v kapitole 6. využito měřícího dekodéru DVMD (viz. kapitola 3.2) a programu MPEG-2 Realtime Monitor (viz. kapitola 4.1). Monitorováním transportního toku byly dvacetičtyřhodinovými měřeními získány hodnoty chyb řazené podle priority (viz. Tab. 7.3 a 7.4). V této tabulce jsou dvakrát monitorovány oba multiplexy 1. a 2. V závorce je uvedeno (např. ČT24), což identifikuje, při kterém dvacetičtyřhodinovém měření kvality byly chyby naměřeny.

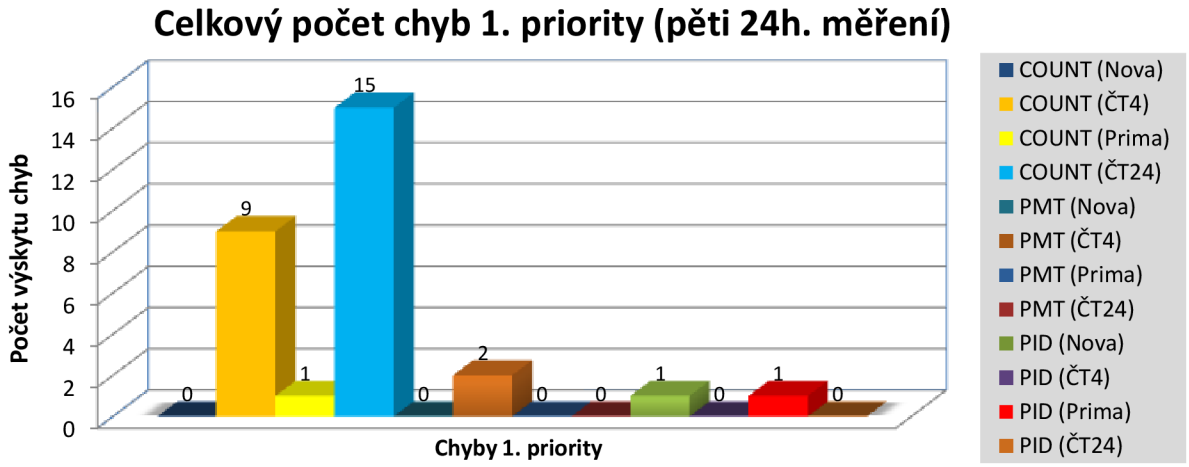
Naměřené chyby jsou podle priority zobrazeny v grafickém hodnocení (viz. Obr. 7.4, 7.5 7.6 a 7.7).

Tab. 7.3 Celkový počet změřených chyb seřazených podle priority (multiplex 1. a 2.)

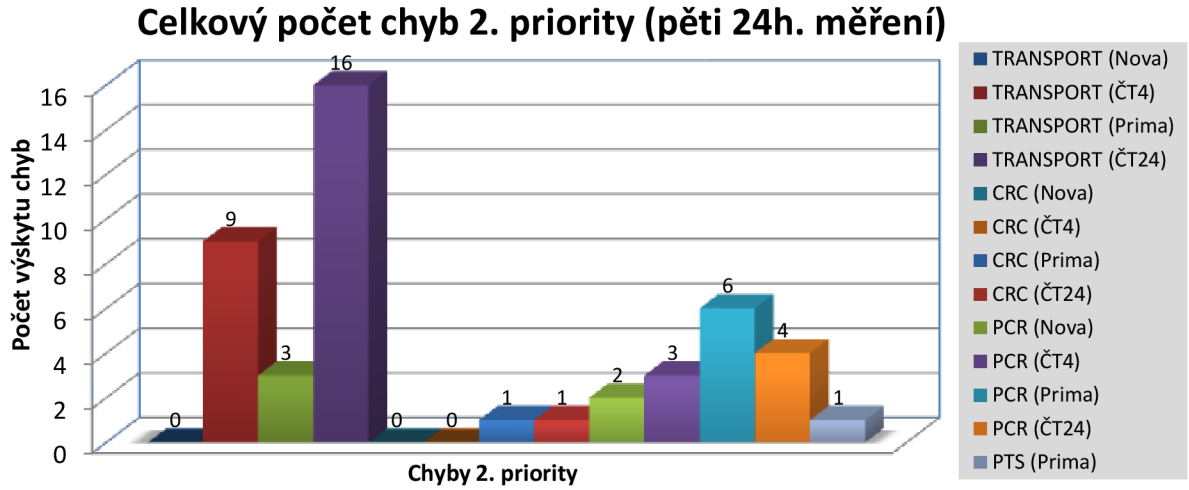
Počet chyb všech tří priorit u dlouhodobých měření				
TV_programy	**Nova**	**CT4**	**Prima**	**CT24**
Počet chyby_1_priority	001	011	002	017
Počet chyby_2_priority	002	012	011	021
Počet chyby_3_priority	000	160	006	142

Tab. 7.4 Veškeré chyby naměřené při 24 hodinových měřeních u multiplexů 1. a 2.

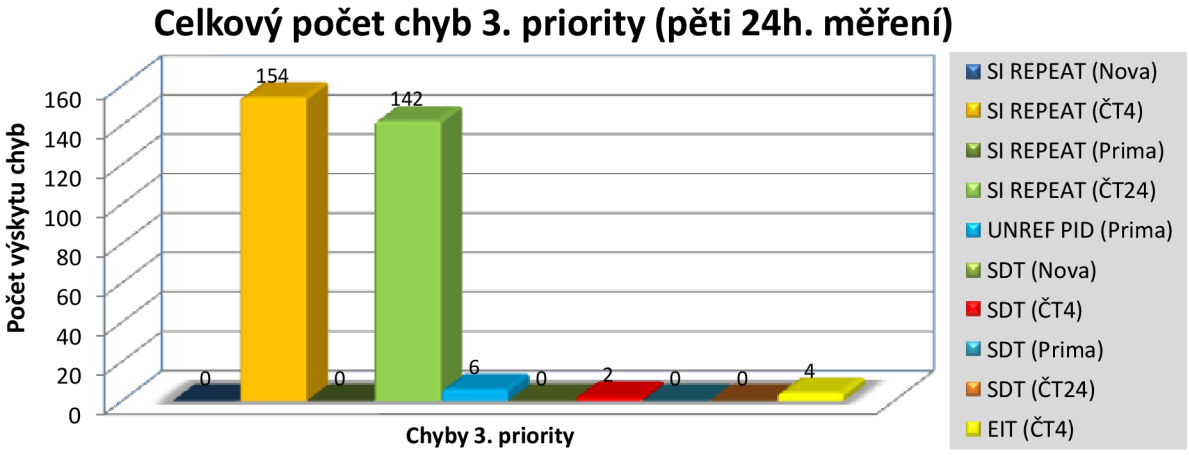
Provedené měření	Síť 1.(ČT24)	Síť 2.(NOVA)	Síť 1.(ČT4)	Síť 2.(PRIMA)
Chyby první priority				
TS SYNC	0	000	000	0
SYNC BYTE	000	000	000	0
PAT	000	000	000	0
COUNT COUNT	015	000	009	1
PMT	002	000	002	0
PID	000	001	000	1
Chyby druhé priority				
TRANSPORT	016	000	009	3
CRC	001	000	000	1
PCR	004	002	003	6
PCR ACCURACY	000	000	000	0
PTS	000	000	000	1
CAT	000	000	000	0
Chyby třetí priority				
NIT	000	000	000	0
SI REPEAT	142	000	154	0
UNREF PID	…	000	000	6
SDT	000	000	002	0
EIT	000	000	004	0
RST	000	000	000	0
TDT	000	000	000	0
Chyby dalších servisních dat				
SI OTHER	999	999	999	999
NIT OTHER	999	999	999	999
SDT OTHER	999	999	999	999
EIT OTHER	999	999	999	999
DATARATE	000	000	001	0
MULTIPLEX	000	000	000	0
MIP	000	000	000	0



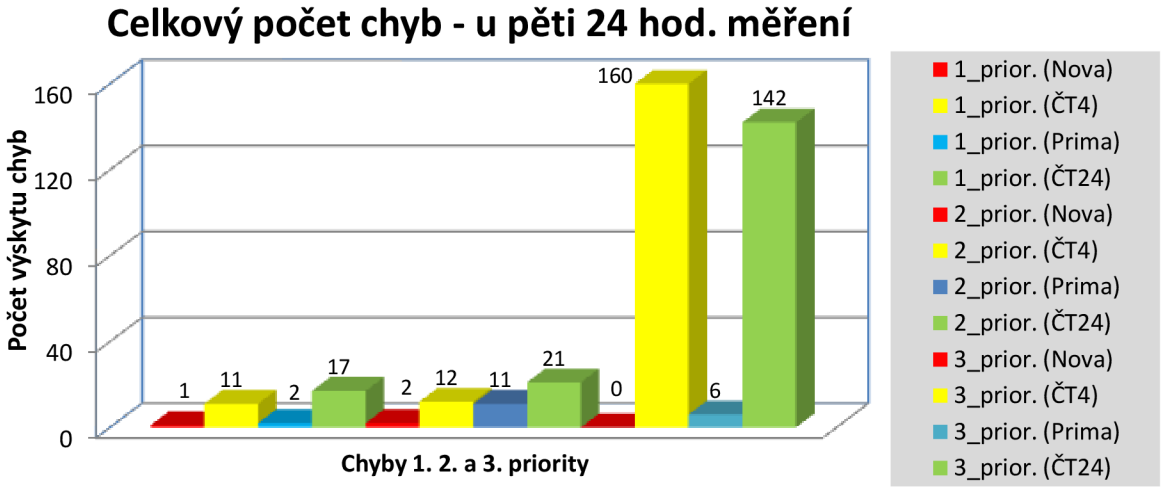
Obr. 7.4 Chyby první priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2.



Obr. 7.5 Chyby druhé priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2.



Obr. 7.6 Chyby třetí priority naměřené během 24 hodin v multiplexu 1. a 2.



Obr. 7.7 Celkový počet chyb dané priority naměřených během 24 hodin (multiplex 1. a 2.)

Z počtu chyb, které byly získány dlouhodobým monitorování transportního toku MPEG -2 TS (viz. Tab 7.4) je zřejmé, že v transportním toku nedocházelo k žádným ztrátám synchronizace (nebyly naměřeny chyby TS_Sync_Error, Sync_Byte_Error). Podle naměřených výsledků nedošlo ani k chybě PAT_Error. Tím pádem identifikace a dekódování jednotlivých programů probíhala z minimálním počtem chyb.

Z chyb první priority byly naměřeny chyby PMT_Error, Continuity_Count_Error a PID_Error.

Z chyb druhé priority byly naměřeny chyby Transport_Error, CRC_Error, PCR_Error a PTS_Error.

Z chyb třetí priority byly naměřeny chyby SI_Repeat_Error, Unreferenced PID, SDT a EIT Error.

Příčiny vznik uvedených naměřených chyb byly popsány v předchozích kapitolách 7.2, 7.3 a 7.4.

7.7 Datové toky sítí 1. a 2.

Datové toky multiplexu 1. a 2. mají konstantní hodnotu 21,6 Mbit/s. Suma PSI/SI obsahuje jednotlivé informační a datové tabulky sloužící pro přenos signálu (PMT, CAT, NIT, SDT, EIT, TDT, TOT, MIP). Každý televizní kanál je určen identifikačním číslem (např. televize Nova má ID = 513). Televizní stanice má rozdělený datový tok pro video (MPEG-2), audio (MPEG-1) a pro privátní tabulku PES. Na závěr obsahuje datový tok Nulové pakety (Null Packet) (viz. Tab. 7.5 a 7.6) [3].

V Tab. 7.5 je uveden podrobný výčet datových toků. Celkový čas měření byl 10:16:59. Grafické rozložení v této tabulce 7.5 ukazuje podrobné členění datového toku multiplexu 2. Datový tok je závislý na obsahu videa obrazu. Čím větší má obraz frekvenci a čím je vyšší jeho dynamičnost, tím větší je jeho datový tok. Na datový tok má vliv i sledovanost daného televizního obsahu. V hlavním televizním vysílání, jehož špička je uvažována v časovém období kolem dvacáté hodiny bude potřeba pro stejný typ obrazu vyššího datového toku.

Dynamických časových obrazů je dosaženo například u fotbalového zápasu (viz. kapitola 8.1.1). A mezi statické obrazové scény patří zejména scény probíhající ve studiu (viz. kapitola 8.1.3).

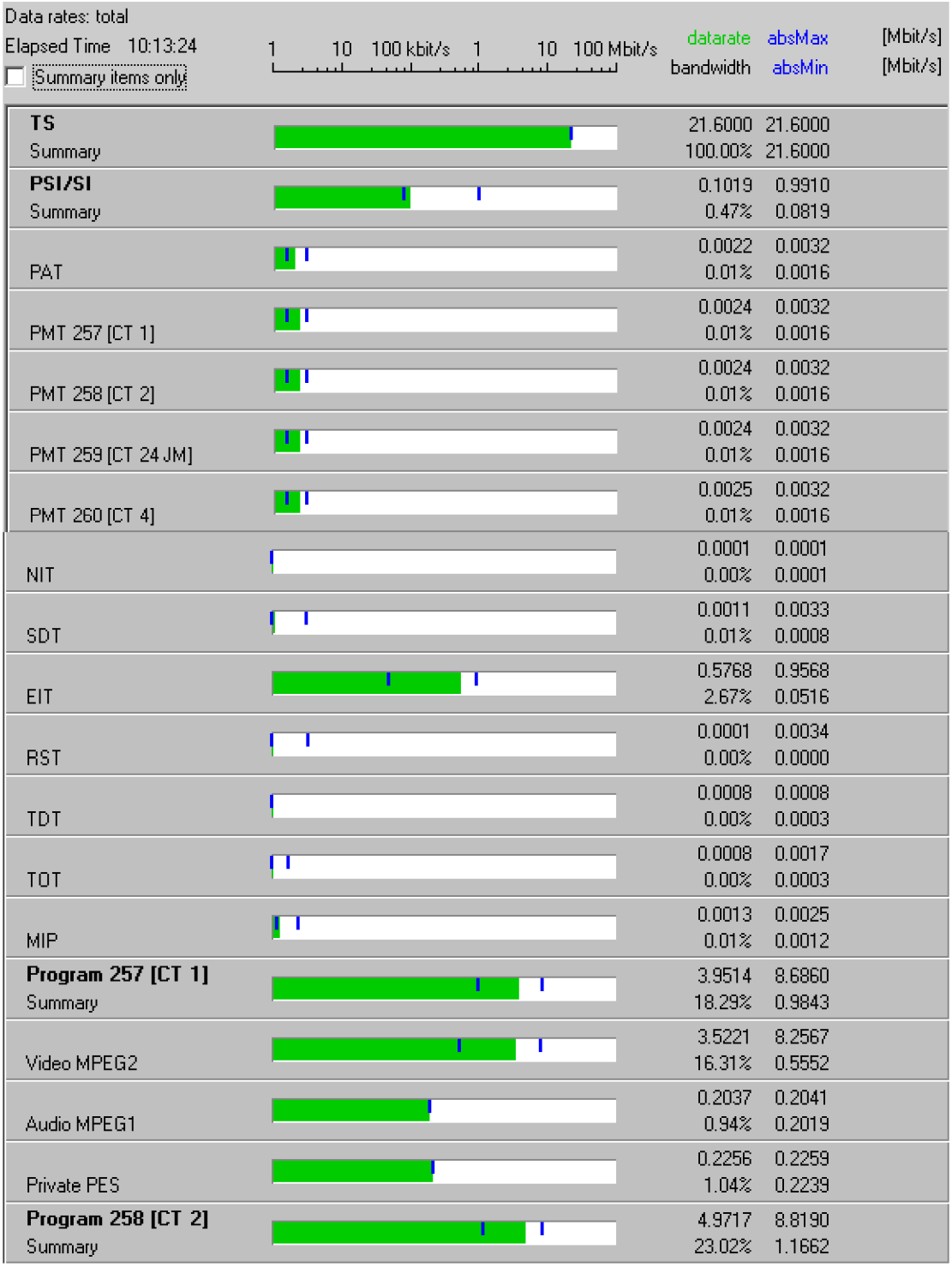
Tab. 7.5 Datové toky multiplexu 2. (část 1/2)

Data rates: total Elapsed Time 10:16:59 Summary items only	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate bandwidth	absMax absMin	[Mbit/s] [Mbit/s]
TS Summary		21.6000 100.00%	21.6000 21.6000	
PSI/SI Summary		0.2847 1.32%	0.3849 0.2164	
PAT		0.0028 0.01%	0.0032 0.0016	
PMT 513 [NOVA]		0.0025 0.01%	0.0032 0.0016	
PMT 514 [NOVA CINEMA]		0.0026 0.01%	0.0032 0.0016	
PMT 769 [PRIMA]		0.0026 0.01%	0.0032 0.0016	
PMT 770 [Prima COOL]		0.0026 0.01%	0.0032 0.0016	
PMT 2049 [BARRANDOV T		0.0029 0.01%	0.0032 0.0016	
CAT		0.0028 0.01%	0.0032 0.0016	
NIT		0.0001 0.00%	0.0004 0.0001	
SDT		0.0005 0.00%	0.0018 0.0005	
EIT		0.2635 1.22%	0.3667 0.1960	

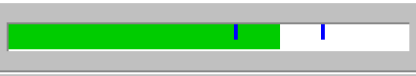
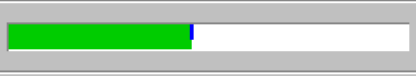
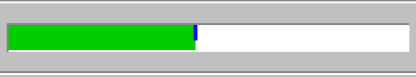
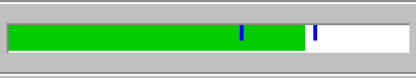
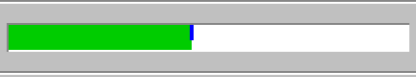
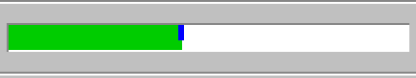
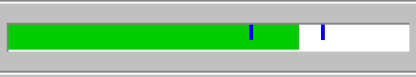
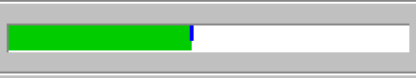
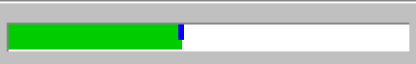
Tab. 7.5 Datové toky multiplexu 2. (část 2/2)

TDT		0.0001 0.00%	0.0006 0.0001
TOT		0.0001 0.00%	0.0018 0.0001
MIP		0.0013 0.01%	0.0025 0.0012
Program 513 [NOVA] Summary		2.4462 11.33%	8.0512 2.1581
Video MPEG2		2.0173 9.34%	7.6215 1.7286
Audio MPEG1		0.2036 0.94%	0.2045 0.2026
Private PES		0.2253 1.04%	0.2269 0.2244
Program 514 [NOVA CII Summary		3.1707 14.68%	7.9143 2.1852
Video MPEG2		2.7419 12.69%	7.4846 1.7558
Audio MPEG1		0.2035 0.94%	0.2046 0.2027
Private PES		0.2254 1.04%	0.2267 0.2241
Program 769 [PRIMA] Summary		3.3911 15.70%	7.7615 1.0276
Video MPEG2		2.9661 13.73%	7.3362 0.6020
Audio MPEG1		0.1998 0.93%	0.2011 0.1942
Private PES		0.2252 1.04%	0.2283 0.0826
Program 770 [Prima CO Summary		4.1974 19.43%	7.6594 0.8432
Video MPEG2		3.8433 17.79%	7.3051 0.4892
Audio MPEG1		0.2038 0.94%	0.2045 0.2004
Private PES		0.1504 0.70%	0.1510 0.1470
Program 2049 [BARRA Summary		4.4735 20.71%	8.0436 2.1429
Video MPEG2		4.0440 18.72%	7.6147 1.7136
Audio MPEG1		0.2037 0.94%	0.2045 0.2026
Private PES		0.2257 1.05%	0.2267 0.2242
Null Packets Stuffing		1.0058 4.66%	4.1198 0.1038

Tab. 7.6 Datové toky multiplexu 1. (část 1/2)



Tab. 7.6 Datové toky multiplexu 1. (část 2/2)

Video MPEG2		2.6327 12.19%	8.3897 0.7369
Audio MPEG1		0.2035 0.94%	0.2040 0.2020
Private PES		0.2256 1.04%	0.2259 0.2239
Program 259 [CT 24 JM Summary		5.5860 25.86%	7.4485 1.2070
Video MPEG2		5.2319 24.22%	7.0943 0.8526
Audio MPEG1		0.2037 0.94%	0.2041 0.2019
Private PES		0.1504 0.70%	0.1507 0.1487
Program 260 [CT 4] Summary		4.5597 21.11%	8.7312 1.1156
Video MPEG2		4.2058 19.47%	8.3775 0.7613
Audio MPEG1		0.2035 0.94%	0.2041 0.2019
Private PES		0.1504 0.70%	0.1506 0.1487
Null Packets Stuffing		0.7366 3.41%	9.6491 0.2436

7.8 Kvalita obrazu měřená objektivní metrikou DVQL-W

K měření kvality bylo využito analyzátoru kvality obrazu DVQ popsaného v kapitole 3.1 a softwaru Quality Monitor popsaného v kapitole 4.2. Měřením kvality obrazu objektivní metrikou DVQL-W výše popsanou v kapitole 2.3.3, byly získány zejména hodnoty samotné kvality obrazu DVQL-W, prostorové aktivity (SA), časové aktivity (TA) a datové rychlosti (DataRate).

7.8.1 Průměrné hodnoty naměřené u jednotlivých programů

Během dvacetičtyřhodinových měření byla měřena kvalita celkem u pěti programů nacházejících se v multiplexu 1 nebo 2. Měřené programy a datumy měření byly s ohledem na měření kvality voleny v závislosti na předpokládaném typu obsahu obrazu, který se měl při měření podle předpokladu nejčastěji objevovat. Zvolený typ obrazu se měl ve výsledku nejvýrazněji promítnout do celkového hodnocení kvality. Důležitým faktorem pro výběr byla předpokládaná dynamičnost, nebo naopak statičnost typu obrazu.

Během měření byly zaznamenány výsledky, které byly následně uloženy do souboru s příponou „doc“, ze kterého byly exportovány do excelovského formátu „xlsx“ což umožňovalo jejich další zpracovávání. S ohledem na velkou kapacitu naměřených hodnot (cca 220 000 hodnot) bylo pro zpracování použito programu Microsoft Excel 2007.

Ze všech měření byly vypočteny průměrné, minimální a maximální hodnoty jednotlivých měřených veličin (viz. Tab. 7.7).

Tab. 7.7 Zobrazení naměřených hodnot kvality obrazu během 24 hodinových měření programů multiplexu 1. a 2.

Prog. Name	ČT1	Prima	ČT4	Nova	ČT24
	Picture Quality DVQL-W [%]				
DVQL-Wmax	100	100	100	100	100
DVQL-Wavg	84,393	77,604	77,637	82,711	86,318
DVQL-Wmin	-1	0	-1	-1	-1
	Spectral Activity SA [%]				
SA-max	100	100	100	100	100
SA-průměr	39,003	37,163	48,52	33,67	62,858
SA-min	0	0	0	0	0
	Temporal Aktivity TA [%]				
TA-max	100	100	100	100	100
TA-průměr	21,347	24,909	35,084	27,925	6,993
TA-min	0	0	0	0	0
	Data Rate [Mbit/s]				
DataRate-max	9,904	7,546	10,026	7,687	8,986
DataRate-průměr	3,949	3,503	4,346	3,436	2,963
DataRate-min	0,151	0,152	0,222	1,362	0,247

Tab. 7.8 Vývoj naměřených hodnot DVQL-W, SA, TA a DR během 24 hodinového měření v intervalech opakujících se po hodině (program TV Prima)

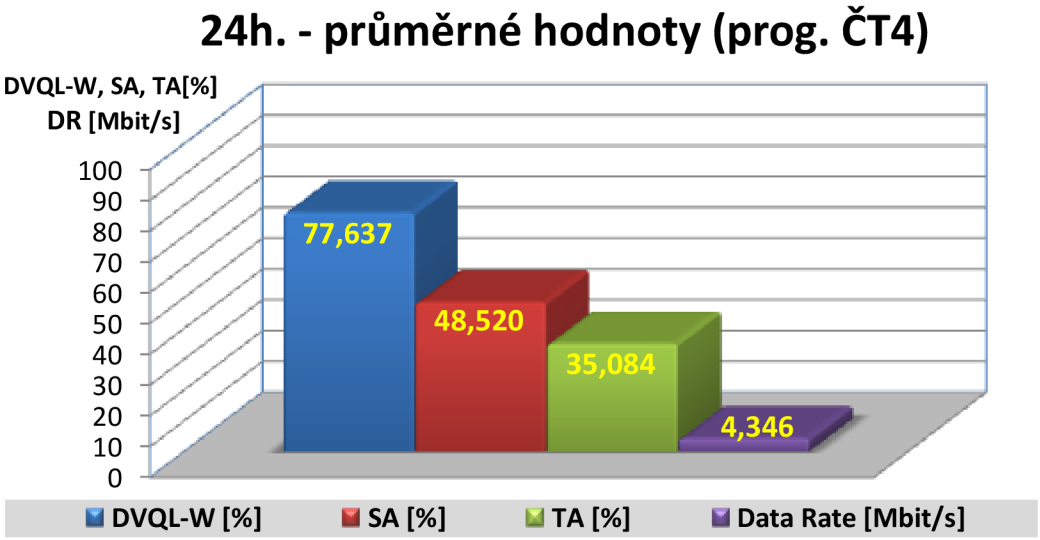
Prima - multiplex 2				
Interval [hod]	**DVQL-Wavg [%]**	**SA-průměr [%]**	**TA-průměr [%]**	**DR průměr [Mbit/s]**
0 – 1	78,663	27,704	27,534	3,206
1 – 2	77,665	30,934	32,206	3,704
2 - 3	74,243	34,192	28,189	3,962
3 – 4	75,755	35,144	22,281	3,534
4 – 5	73,550	35,498	35,259	3,499
5 - 6	76,312	36,321	29,584	3,349
6 – 7	79,423	48,558	16,658	3,403
7 - 8	75,576	45,921	30,606	3,649
8 – 9	81,494	24,688	42,658	3,296
9 - 10	80,706	41,529	18,499	3,595
10 – 11	83,668	34,030	26,650	3,439
11 - 12	81,901	56,185	12,257	3,442
12 – 13	80,592	71,925	4,320	3,573
13 - 14	85,245	47,678	8,183	3,271
14 – 15	73,608	34,128	30,986	3,555
15 - 16	70,898	37,407	17,811	3,956
16 – 17	78,169	44,745	25,508	3,981
17 - 18	75,030	33,037	26,555	3,806
18 – 19	76,322	28,761	21,239	3,305
19 - 20	75,724	34,408	36,021	3,367
20 – 21	72,102	35,933	24,778	3,710
21 - 22	77,576	25,062	28,801	3,176
22 – 23	79,022	22,034	29,698	3,154
23 - 24	79,246	26,074	21,545	3,145

Naměřené hodnoty kvality DVQL-W, prostorové i časové aktivity se pohybují v maximálním možné rozmezí daného teorií (0 – 100%], což odpovídá jejich maximálnímu teoretickému rozsahu. V Tab. 7.7 dokonce nabývají některé minimální hodnoty naměřené veličiny DVQL-Wmin hodnoty -1%, což je způsobeno chybou měření programu Quality Monitor při prudkém zhoršení kvality (např. z 90% na 0%).

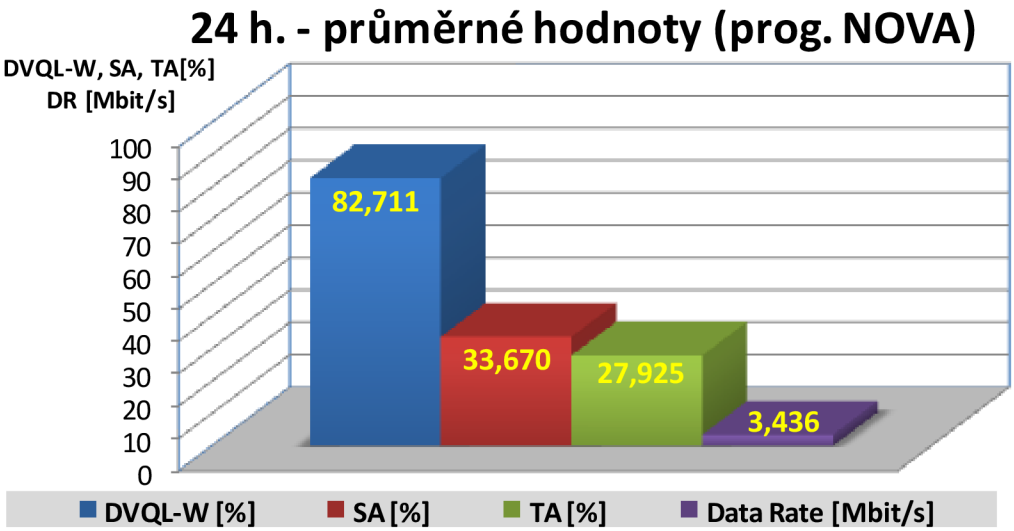
Již výsledky SA a TA zobrazené výše na obrázcích 2.6 a 2.7 (uvedeno v kapitole 2.3.4) potvrzují myšlenku, že program Quality Monitor měří prostřednictvím analyzátoru DVQ minimální a maximální hodnoty i u obrazů, které nedosahují teoretického minima nebo maxima. Proto dochází u dvacetičtyřhodinových měření často ke stavu, za kterého je podle naměřených hodnot prostorová i časová aktivita minimální nebo maximální.

V Tab. 7.8 je zaznamenán vývoj naměřených veličin kvality vybraného programu televize Prima (z multiplexu 2). Z vývoje veličin naměřených v jednotlivých hodinách jsou rozpoznatelné rozdíly způsobené typem vysílání v daném časovém úseku měřeni. Záleží na dynamičnosti, na frekvenčním obsahu obrazu i na televizní sledovanosti.

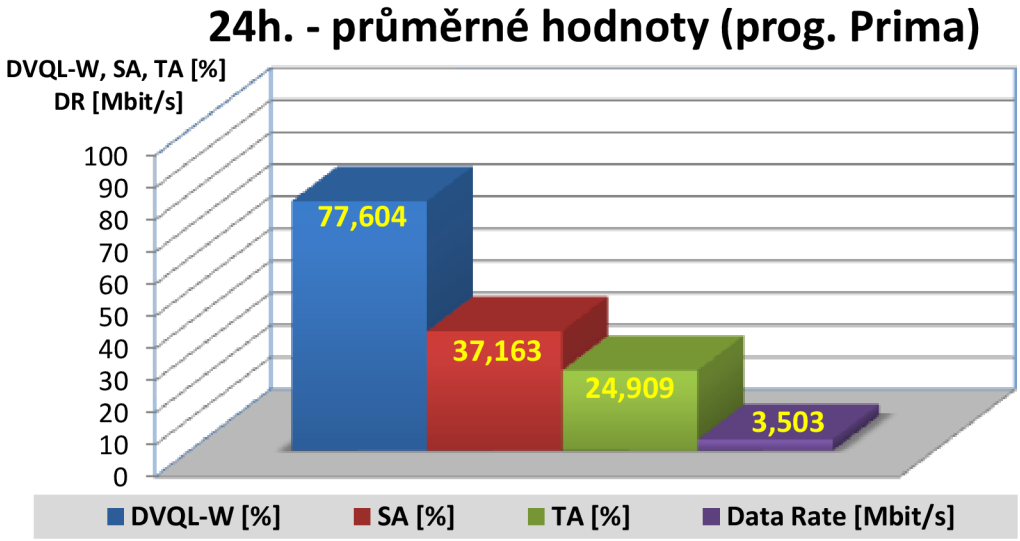
Na níže uvedených obrázcích (viz Obr. 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 a 7.12) jsou prezentovány průměrné hodnoty získané metrikami DVQL-W, SA, TA z celkem pěti dlouhodobých dvacetičtyřhodinových měření.



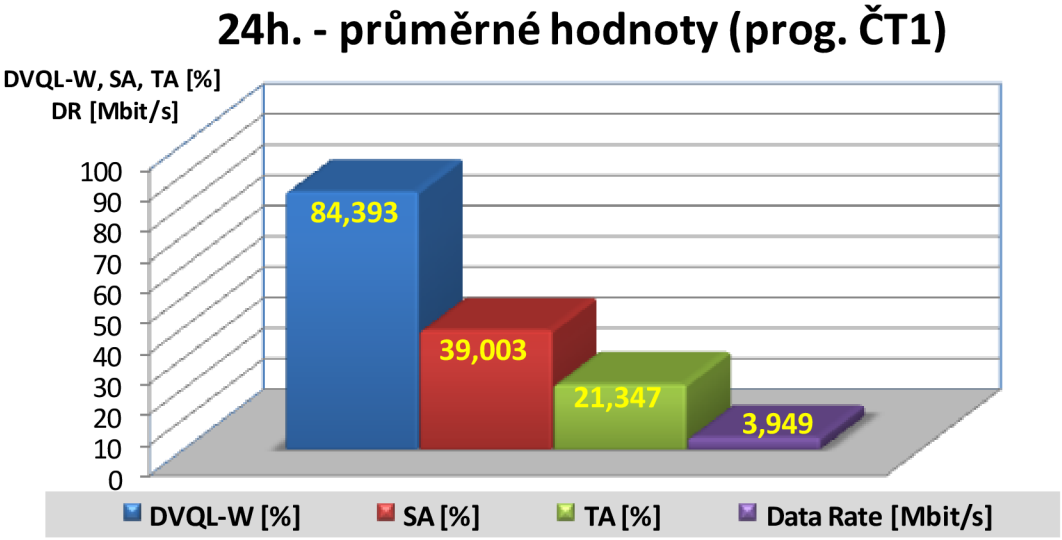
Obr. 7.8 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT4 (multiplex 1)



Obr. 7.9 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu Nova (multiplex 2)



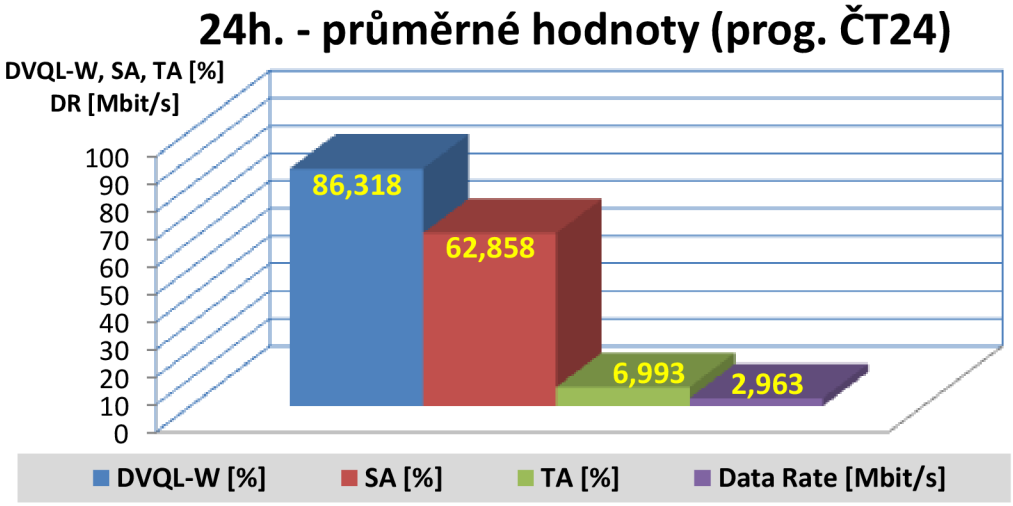
Obr. 7.10 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu Prima (multiplex 2)



Obr. 7.11 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT1 (multiplex 1)

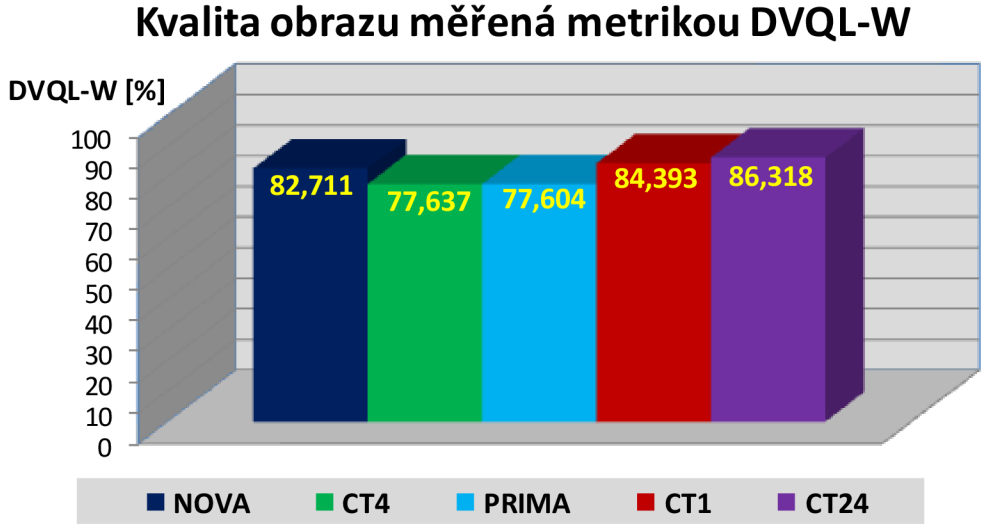
Z grafických výsledků měření programů televizí Nova, Prima a ČT1 je rozpoznatelné podobné rozložení průměrných hodnot kvality. Vyjádřené průměrné hodnoty se sobě blíží zejména, protože tyto tři televizní stanice měly v dlouhodobém měření podobné rozložení obrazových scén, jež bylo identifikováno podle televizního programu i analýzou utvořeného záznamu.

Tyto záznamy byly zhotoveny pro celý průběh každého měření. Tvorba každého záznamu byla určena výhradně jen pro akademické potřeby Každý dvacetičtyřhodinový záznam se liší svojí kapacitou cca 50 GByte. Jeho kapacita závisí na členitosti a dynamičnosti daného obrazu. U dynamických video obrazů je kapacita záznamu vyšší. Což znovu jenom potvrzuje tvrzení závislosti datových toků na typu obrazu (viz. kapitola 7.7).



Obr. 7.12 Průměrné hodnoty (24 hod.) měření programu ČT24 (multiplex 1)

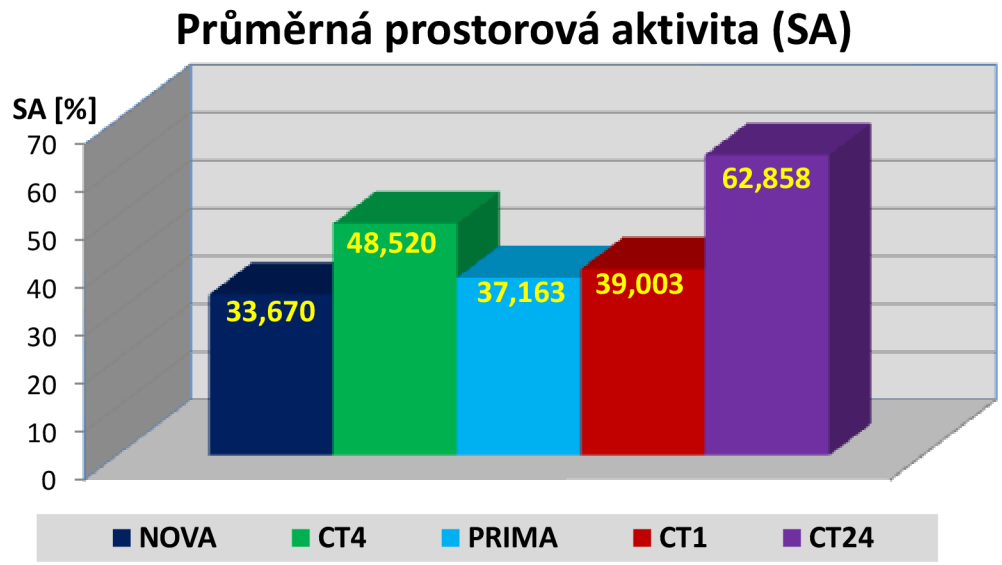
Nejvyšší průměrné hodnoty kvality signálu bylo dosaženo u programu ČT24. U něhož pocházely obrazové snímky zejména z prostředí poslanecké sněmovny a televizního studia. Ve snímcích tohoto typu obecně nedochází k častým časovým změnám. Obrazová scéna tohoto typu má potom nízkou hodnotou časové aktivity (viz. Obr. 7.12 a 7.15), ve kterých je TA znatelně nižší než u ostatních dlouhodobých měření. Průměrná hodnota časové aktivity je u programu ČT24 menší o 14,354% než druhá nejnižší hodnota TA naměřená u programu ČT1. Další hodnocení obrazových scén ve studiu je provedeno v kapitole 8.1.3.



Obr. 7.13 Porovnání průměrné kvality obrazu 24 hodinových měření (prog. multiplexu 1. a 2.)

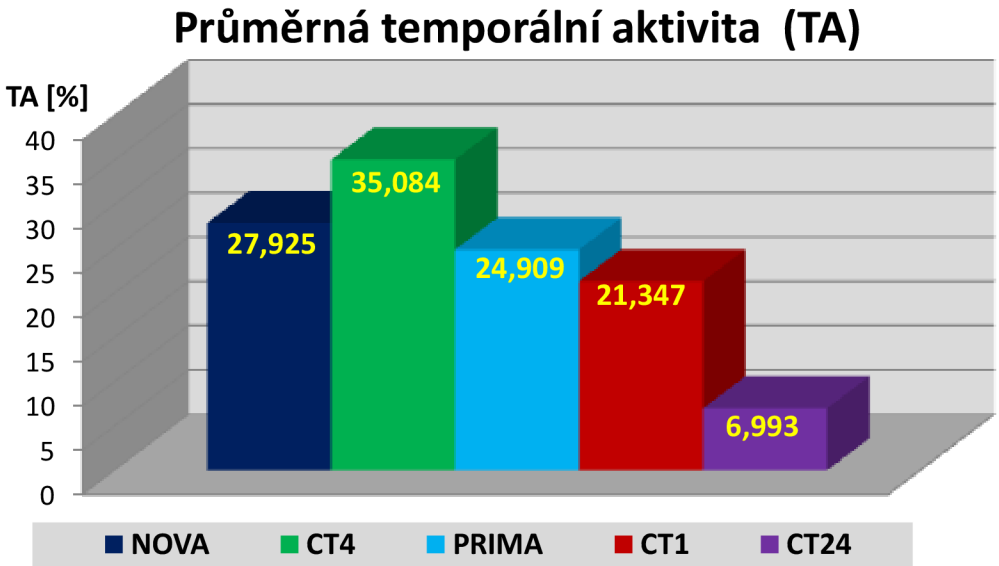
Průměrné hodnoty kvality (viz. Obr. 7.13) řadí vysílání televizních stanic ČT24 (86,318 %), ČT1 (84,393) a Novy (82,711 %) do skupiny, ve které je obraz kvalifikován, jako výborný tzn. poškození obrazu je podle metody SSCQE lidským okem prakticky nevnímatelné. Televizní stanice ČT4 (77,637 %) a Prima (77,604 %) už spadají do druhé kvalitativní skupiny, u níž je poškození obrazu podle testu SSCQE vnímatelné, ale nerušící. Při tomto rušení se mohou objevovat minimálně viditelné změny v obraze. Tyto změny se

vyskytují nejčastěji například na logu televize ve formě kostiček.



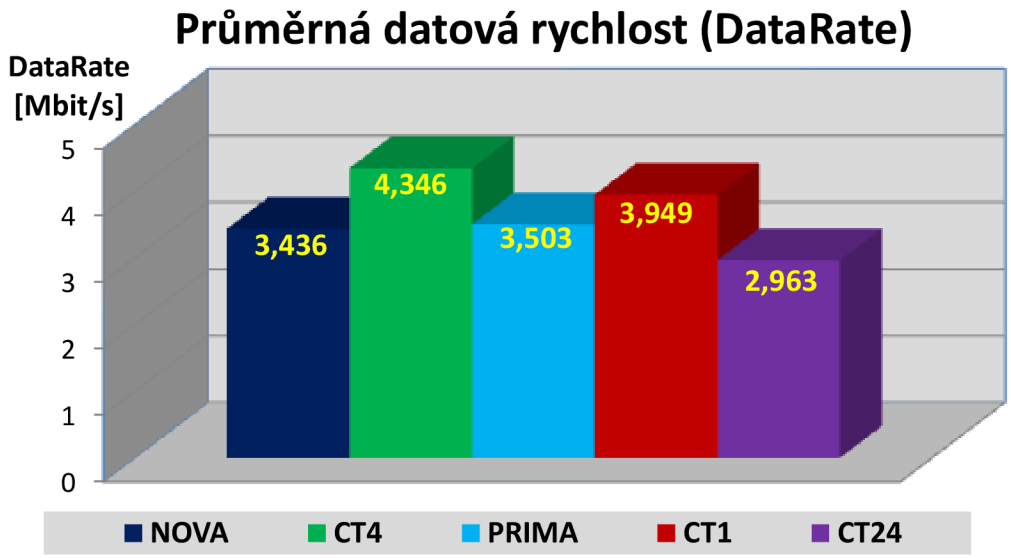
Obr. 7.14 Porovnání průměrné prostorové aktivity 24 hodinových měření u vybraných programů multiplexu 1. a 2.

Nejvyšší průměrné hodnoty SA (viz. Obr.. 7.14) bylo dosaženo u programu ČT24 (62,858%) u něhož, jak bylo výše uvedeno, probíhaly obrazové scény především ve studiu (studio zpráv, živé jednání z poslanecké sněmovny). Průměrná hodnota SA u programu ČT24 je vyšší o $\Delta SA = 14{,}338$ % než druhá nejvyšší hodnota SA naměřená u programů ČT4. U prostorové aktivity obecně platí, že jejího maxima je dosaženo tehdy, když jsou vedle bílých pixelů černé pixely ve vertikálním a horizontálním směru v celém snímku (SA = 100%). Naopak nejnižší hodnoty SA jsou dosaženy u monochromatického obrazu (SA = 0%). Průměrná scéna programu ČT24 měla tedy během měření nejvyšší frekvenční obsah obrazu.

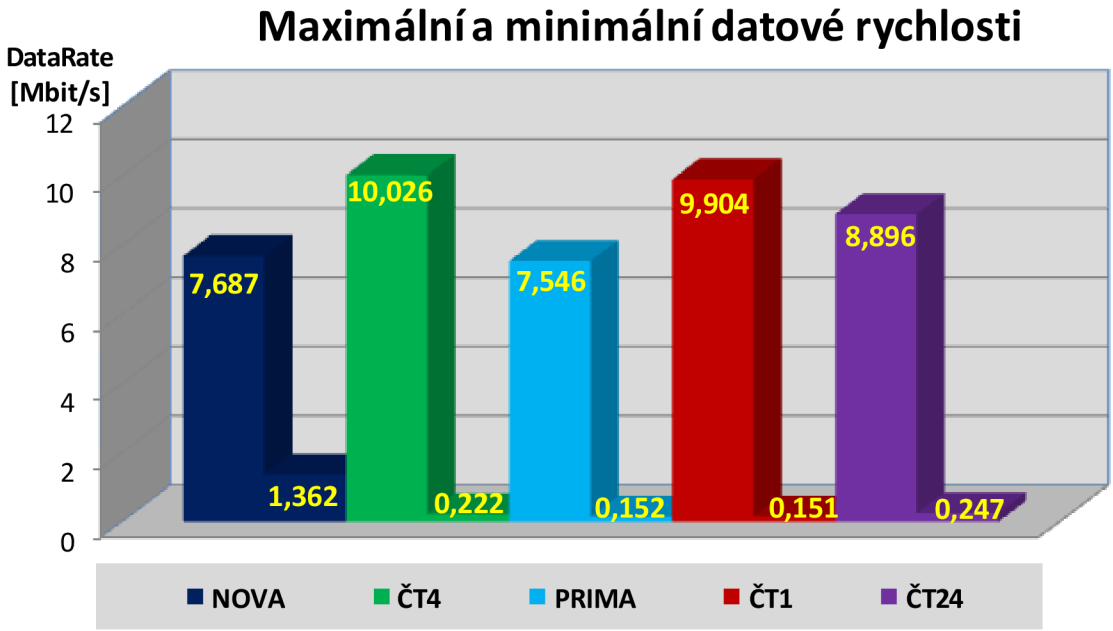


Obr. 7.15 Porovnání průměrné časové aktivity 24 hodinových měření (multiplexu 1. a 2.)

Na Obr. 7.15 jsou zobrazeny průměrné hodnoty časové aktivity. Obsah obrazu může být matematicky vyhodnocen pomocí charakteristik časové aktivity, která indikuje celkovou časovou aktivitu obrazu. Temporální aktivita je závislá na změně obrazových scén jednotlivých televizních programů. Nejvyšší průměrné hodnoty časové aktivity obrazu (48,520 %) bylo dosaženo při měření programu ČT4. Na programu ČT4 probíhalo nejvíc živého vysílání (zejména fotbalové a hokejové utkání). Hodnota časové aktivity je dána součtem jednotlivých měření vyhodnocujících změny pohybu v po sobě jdoucích snímcích. Oproti jiným obrazovým scénám bylo u sportovních přenosů dosahováno vyšších hodnot časové aktivity. Podrobnější hodnocení vlivu typu obsahu obrazu na časovou aktivitu je provedeno níže v kapitole 8.



Obr. 7.16 Porovnání datové rychlosti u 24 hodinových měření (multiplexu 1. a 2.)



Obr. 7.17 Maximální a minimální datové rychlosti dosažené dlouhodobými měřeními (multiplex 1. a 2.)

Při zkoumání naměřených výsledků bylo dosaženo závěru, že datová rychlost je vyšší pro větší časovou změnu mezi obrazovými snímky (u dynamických obrazů). Což dokazuje i tvrzení, že maximální změřené hodnotě datové rychlosti (DR = 10,0259 Mbit/s) odpovídá TA = 100%. A naopak minimální změřené hodnotě datové rychlosti (DR = 0,151 Mbit/s) odpovídá stav TA = 0%.

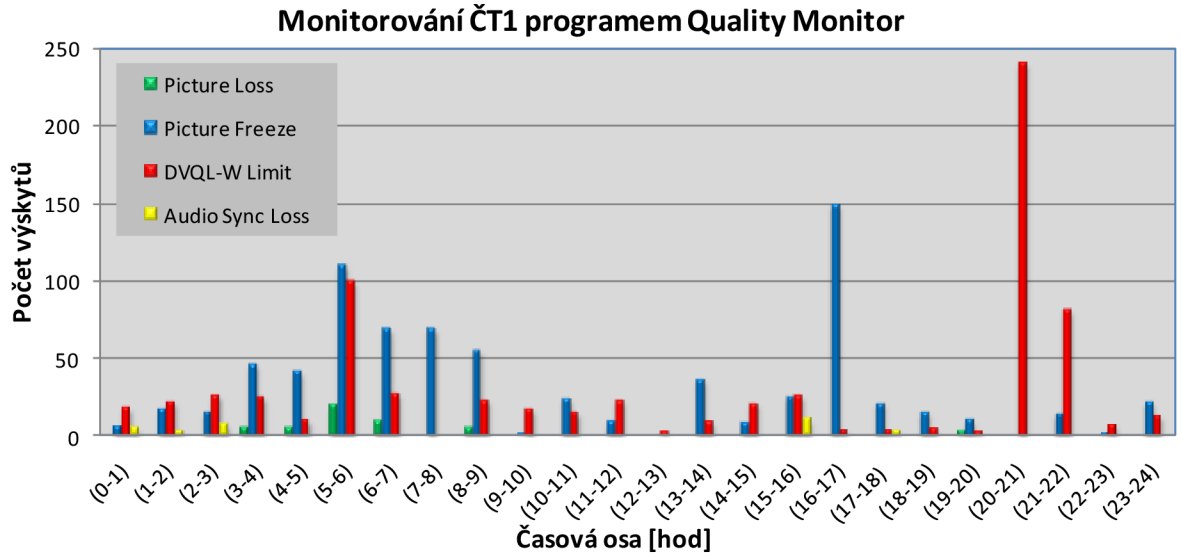
7.9 Monitorování obrazu programem Quality Monitor

Program Quality Monitor může mimo již zmíněných veličin monitorovat zamrznutí obrazu (Picture Freeze), ztráty obrazu (Picture Loss), ztráty zvuku (Sound Loss), ztrátu synchronizace videa (Video Sync Loss), DVQL-W limit, ztrátu synchronizace audia (Audio Sync Loss) i ztrátu synchronizace transportního toku (TS_Sync_Loss) [12].

K prezentaci výše uvedených veličin byl vybrán program ČT1 (multiplex 1). Byl u něj sledován průběh měřených veličin během dvacetičtyřhodinového měření (viz. Tab. 7.9).

Tab. 7.9 Monitorování průběhu měřených veličin programu ČT1 (multiplex 1) v závislosti na hodinových časových intervalech

V intervalu [hod]	Video Sync Loss	Picture Loss	Picture Freeze	DVQL-W Limit	Audio Sync Loss	Sound Left Loss	Sound Right Loss	TS Sync Loss
0 - 1	0	0	6	18	5	10	10	0
1 - 2	0	0	17	22	3	3	3	0
2 - 3	2	0	15	26	7	0	0	0
3 – 4	0	5	46	25	0	0	0	0
4 - 5	0	5	41	10	0	0	0	0
5 – 6	0	19	110	100	0	10	10	0
6 - 7	0	9	69	27	0	0	0	0
7 – 8	0	0	69	0	0	0	0	0
8 - 9	0	5	55	23	0	0	0	0
9 – 10	0	0	2	17	0	0	0	0
10 - 11	0	0	24	15	0	23	23	0
11 – 12	0	0	9	23	0	9	9	0
12 - 13	0	0	0	3	0	0	0	0
13 – 14	0	0	36	9	0	0	0	0
14 - 15	0	0	8	21	0	0	0	0
15 – 16	5	0	25	26	10	0	0	0
16 - 17	0	0	149	4	0	0	0	0
17 – 18	0	0	21	4	3	0	0	0
18 - 19	0	0	15	5	0	14	14	0
19 – 20	0	3	10	3	0	19	19	0
20 - 21	0	0	0	240	0	0	0	0
21 – 22	0	0	14	81	0	10	10	0
22 - 23	0	0	2	7	0	0	0	0
23 - 24	0	0	22	13	0	5	5	0



Obr. 7.18 Monitorování programu ČT1 (multiplex 1) programem Quality Monitor

Prostřednictvím Obr. 7.18 je vyjádřen počet výskytů měřených veličin - ztráty obrazu (Picture Loss), zamrznutí obrazu (Picture Freeze), DVQL-W limit a ztráty synchronizace audia (Audio Sync Loss).

K vyhodnocení těchto měřených veličin používá program Quality Monitor zejména hodnoty SA a TA. Například k zamrznutí obrazu dojde za stavu, kdy je TA = 0. Ztráta obrazu nastane za stavu, kdy je SA = 0, TA = 0 [12].

Při analýze hodnot Picture Freeze a Picture Loss dochází k neshodě s předchozími naměřenými hodnotami SA a TA. Za stavu kdy je SA = 0% a TA = 0% by mělo dojít ke ztrátě obrazu. Za tohoto stavu ke ztrátě obrazu často nedochází! Příklad je např. Obr. 2.7, na kterém je zobrazen snímek z obrazové scény za stavu SA = TA = 0%.

Tato nepřesnost byla způsobena částečně nepřesným měřením analyzátoru DVQ a programu Quality Monitor, jimiž bývá naměřen stav minimální SA a TA (TA = SA = 0 %) za stavu obrazu, který neodpovídá teorii. Nulové hodnoty SA a TA by podle teorie měly nastat za stavu, když je obraz monochromatický po delší časový interval. Teorie není v praxi v některých případech splněna.

Díky výše zmíněné nepřesnosti jsou hodnoty ztráty a zamrznutí obrazu naměřeny častěji než se vyskytují v praxi.

S ohledem na hodnocení ztrát je nutné zmínit chybu vznikající maskovacím efektem lidského oka. Které není schopno vnímat pro něj maskované frekvenční změny v obraze. Na monitorování mají vliv i různé matematické algoritmy, které je třeba znát pro nejpodrobnější analýzu.

8 HODNOCENÍ KVALITY V ZÁVISLOSTI NA OBRAZOVÉ SCÉNĚ

Je obecně známo, že na kvalitu obrazu videa má velký vliv typ obsahu vysílání. Proto bylo pro podrobnější analýzu kvality obrazu provedeno detailnější hodnocení kvality obrazu v závislosti na obrazové scéně (na typu obsahu vysílání). Tato kapitola obsahuje analýzu závislosti DVQL-W, SA, TA a datové rychlosti na konkrétním typu obrazové scény. Bylo zde čerpáno z provedených video záznamů určených pouze pro akademické účely.

8.1 Podrobný popis vybraných obrazových scén

Při hodnocení bylo postupováno porovnáváním hodnot naměřených programem Quality Monitor se záznamem provedeným během měření. Postupně byly vybrány tyto různé typy obrazových scén:

- živé vysílání fotbalového zápasu Ligy mistrů (8.1.1)
- večerní zprávy televize Nova (Televizní noviny), (8.1.2)
- Show Jana Krause (8.1.3)

8.1.1 Fotbalové utkání

V Tab. 8.1 a 8.2 obsahují vývoj měřených veličin během přímého přenosu fotbalového zápasu.

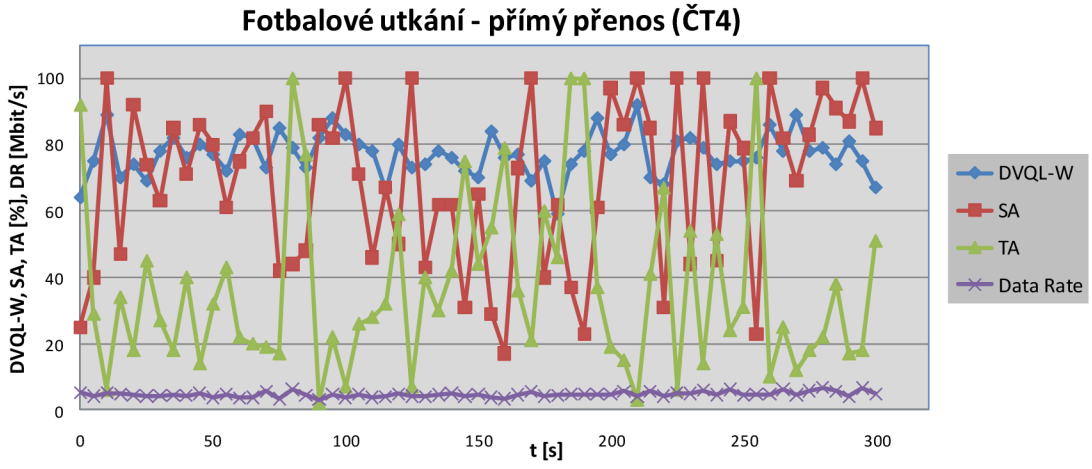
Obr. 8.1 Snímek z nahraného přímého přenosu fotbalového utkání (prog. ČT4, multiplex 1.)

Tab. 8.1: Vývoj měřených veličin během přenosu

Interval [min]	DVQL-W průměr [%]	SA průměr [%]	TA průměr [%]	Data Rate průměr [Mbit/s]
1 - 10	77,99	62,63	36,78	4,597
10 - 20	75,44	57,73	42,00	4,720
20 -30	76,93	58,79	39,24	4,767
30 - 40	76,37	57,69	39,91	4,578
40 - 50	75,04	49,18	47,31	4,450
50 - 60	77,07	38,23	38,90	4,200
60 - 70	76,51	47,10	53,79	4,577
70 - 80	72,87	55,21	61,35	5,230
80 - 90	79,30	50,04	43,17	4,580
90	76,35	52,94	44,76	4,631

Tab. 8.2 Vývoj minimálních a maximálních naměřených veličin během živého přenosu fotbalového zápasu

Interval [min]	DVQL-W min [%]	SA min [%]	TA min [%]	DVQL-W max [%]	SA max [%]	TA max [%]	DR min [%]	DR max [%]
1 - 10	44	2	0	99	100	100	0,391	7,530
10 - 20	20	11	0	94	100	100	1,893	8,644
20 -30	42	9	2	95	100	100	1,948	8,270
30 - 40	42	14	1	94	100	100	1,877	7,571
40 - 50	42	3	0	97	100	100	0,899	8,203
50 - 60	19	9	0	94	100	100	1,415	8,467
60 - 70	41	2	0	99	100	100	0,357	9,227
70 - 80	40	15	3	93	100	100	2,289	8,885
80 - 90	38	4	0	97	100	100	0,611	8,986
90	19	2	0	99	100	100	0,357	9,227



Obr. 8.2 Hodnoty kvality měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. ČT4, multiplex 1.)

Byl vybrán pětiminutový časový úsek (viz. Obr. 8.2), na kterém byly každých 5 s zaznamenány hodnoty (DVQL-W, SA, TA a DataRate).

Z vývoje naměřených veličin znázorněného v Tab. 8.1 je patrný podobný vývoj průměrných hodnot u všech měřených veličin. Díky minimálním změnám průměrných hodnot naměřených veličin mohl být zvolen měřený pětiminutový úsek.

Výrazné změny prostorové a časové aktivity jsou způsobeny obsahem vysílané scény (viz. Obr. 8.1). Fotbalové utkání bylo snímáno větším množstvím kamer, které snímají obraz pod různými úhly. Pohyb a přepínání kamer byl jedním z vedlejších faktorů ovlivňujících průběh měřených veličin. Největší vliv měl na kvalitu video signálu samotný obsah scény, která obsahuje hrací plochu s nízkou SA a tribuny s diváky, kteří naopak zajišťují vysokou prostorovou aktivitu. Změny TA byly nejvýraznější při přepnutí ze snímku tvořeného z největší části hrací plochou na snímek, jehož pozadí je tvořeno diváky.

Kvalita DVQL-W se mění v závislosti na datovém toku aktuálního vysílání i v závislosti na obsahu obrazu. V případě fotbalového záznamu analyzovaného po dobu 90 minut nabývala nejnižší hodnota kvality signálu hodnoty 19% .

Pětiminutový grafický vývoj naměřených veličin (viz. Obr 8.2) podtrhuje dynamičnost dané obrazové scény, u níž dochází k častým změnám SA a TA obrazu. Závěrem může být potvrzeno, že tento pětiminutový grafický záznam je typický pro celý průběh scény typu fotbalového zápasu.

8.1.2 Televizní zprávy

Tato scéna byla vybrána zejména díky pestrosti změn měřených veličin. Tento typ obsahu obrazu je typický přepínáním mezi jednotlivými scénami (studio, živé vstupy, záznamy aj.).

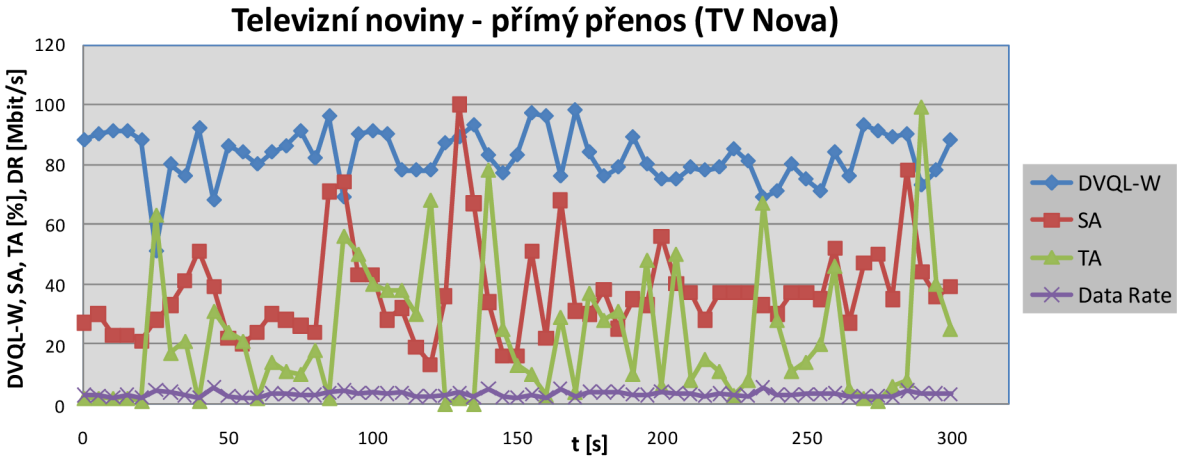
Obr. 8.3 Snímek provedeného záznamu Televizních novin (TV Nova, multiplex 2.)

Tab. 8.3: Vývoj průměrných měřených veličin naměřených během večerního vysílání Televizních novin

Časový interval [min]	DVQL-W avg [%]	SA avg [%]	TA avg [%]	DR avg [Mbit/s]
0 - 5	83,06	36,71	22,42	3,197
5 - 10	84,28	40,47	23,96	3,063
10 - 15	81,39	36,18	20,59	3,075
15 - 20	79,37	38,85	25,15	3,400
20	82,02	38,05	23,03	3,184

Tab. 8.4: Vývoj minimálních a maximálních hodnot měřených během večerního vysílání Televizních novin

Časový interval [min]	DVQL-W min [%]	SA min [%]	TA Min [%]	DVQL-W max [%]	SA max [%]	TA Max [%]	DR min [%]	DR max [%]
0 - 5	48	7	0	98	100	100	1,935	6,336
5 - 10	60	5	0	99	86	100	1,640	6,943
10 - 15	22	6	0	98	99	100	1,686	5,777
15 - 20	47	10	0	99	100	100	2,110	6,069
20	22	5	0	99	100	100	1,640	6,943



Obr. 8.4 Hodnoty kvality měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. Nova, multiplex 2.)

Cílem pětiminutového graficky vyjádřeného záznamu je stejně jako v předchozí kapitole - charakteristický popis daného obrazového obsahu.

Na Obr. 8.3 je zobrazen snímek hodnocené scény. Postup při hodnocení je stejný jako v předchozím případě. Výběrem pětiminutového časového úseku, zobrazeného na Obr. 8.4, na němž byly každých 5 s zaznamenány hodnoty metrik DVQL-W, SA, TA a DataRate.

Na Obr 8.4 je na začátku časové osy (0 - 20s) vykreslena nízká časová aktivita. Má na ni vliv statická scéna. V tomto časovém úseku se totiž odpočítává čas začátku zpráv. V této snímkové sekvenci ovlivňuje minimální časovou změnu mezi jednotlivými snímky pohybující

se ručička hodin. Po dvacáté sekundě dojde v průběhu k prudkému nárůstu TA vlivem změny scén při úvodní znělce zpráv. Podobné změny probíhají během celého záznamu Televizních novin, při přepínání scén (ze studia do živých vstupů apod).

Pětiminutový grafický vývoj naměřených veličin (viz. Obr 8.4) podtrhuje dynamičnost dané obrazové scény, u níž dochází stejně jako u scény typu fotbalového zápasu k častým změnám SA a TA obrazu. Závěrem může být potvrzeno, že tento pětiminutový grafický záznam je typický pro celý průběh celých Televizních novin.

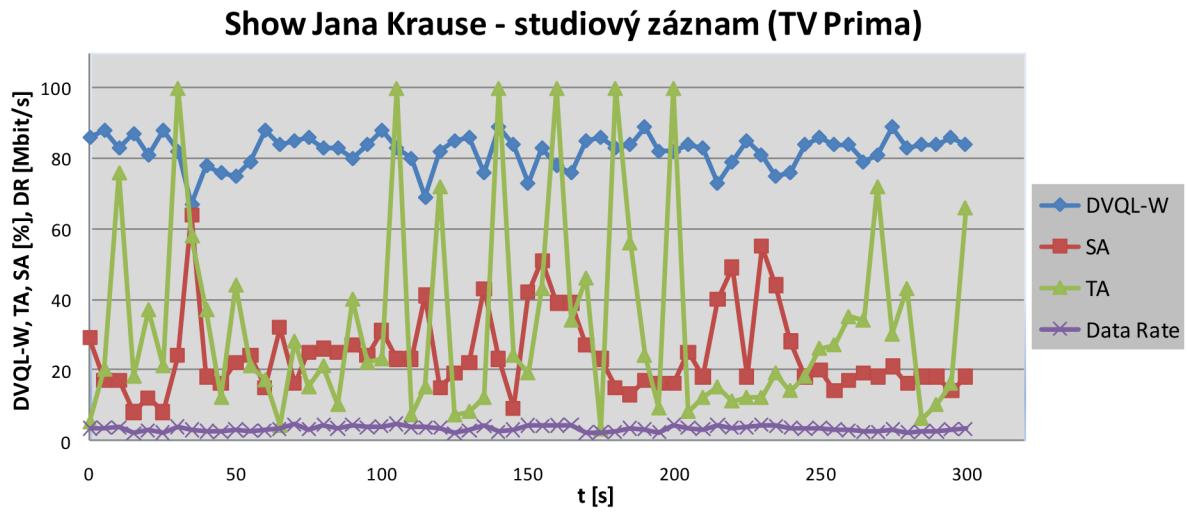
8.1.3 Show Jana Krause

Scény natočené ve studiu jsou typické svojí nízkou časovou aktivitou. Záleží, ale na typu studia a na způsobu zabírání jednotlivých účastníků. Přepínáním mezi kamerami je dosaženo vyšší časové aktivity obrazu než obrazem natočeným jednou kamerou. Kde v po sobě jdoucích snímcích dochází k minimálním změnám např. minimálním pohybem mluvčího a jeho okolí (kulis, ostatních účastníků apod.).

Uvedený obraz charakterizuje změny ve scéně natočené v televizním studiu.

Obr. 8.5 Snímek ze Show Jana Krause (TV Prima, multiplex 2)

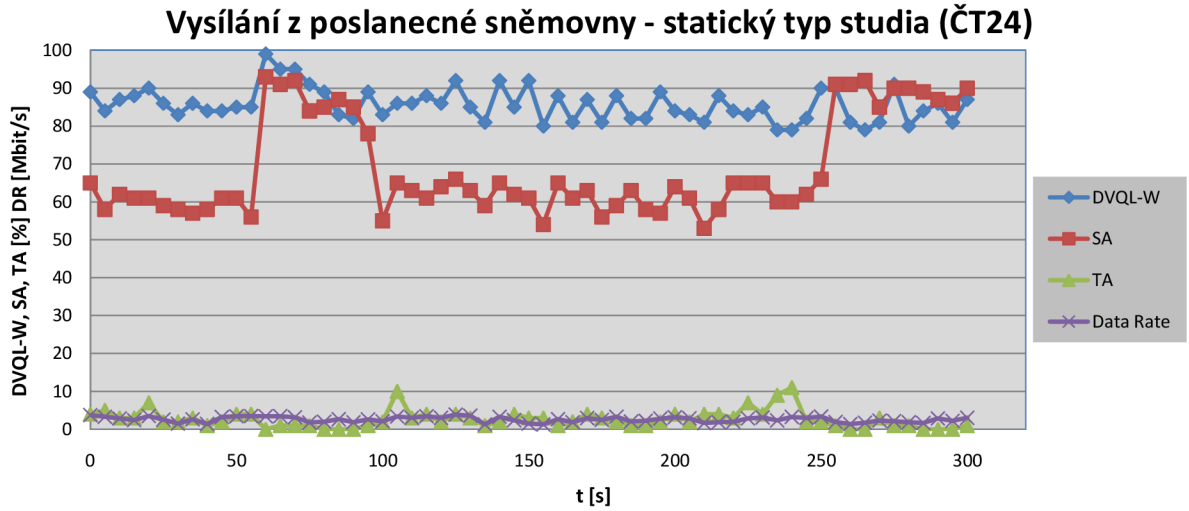
Scény natočené ve studiu jsou často typické svojí nízkou časovou aktivitou. Záleží na typu studia a na způsobu zabírání jednotlivých účastníků. U tohoto obrazu, zobrazeném na Obr. 8.5, je vlivem přepínáním kamer točících záznam a vyšší frekvenčním obsahem obrazu dosaženo vyšší časové aktivity obrazu, než u obrazu typického pro studium. U kterého oproti této scéně dochází po sobě jdoucích snímcích k minimální změně, např. minimálním pohybem mluvčího a jeho okolí (kulis, ostatních účastníků apod.).



Obr. 8.6 Hodnoty veličin měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. Prima, multiplex 2.)

V tomto typu scény byla stejným způsobem jako u obou předchozích dokázána charakteristika pětiminutového záznamu, který vystihuje změny všech čtyř metrik DVQL-W, SA, TA, DataRate).

Jestliže by se jednalo o jiný typ studia, ve kterém by docházelo k minimálním změnám TA, výsledný průběh by vypadal tak, jak je znázorněno na Obr. 8.5.



Obr. 8.7 Hodnoty veličin měřené každých 5s po dobu pěti minut (prog. ČT24, multiplex 1)

Průběh znázorněný na Obr. 8.7 je typický průběh nejen pro vysílání z poslanecké sněmovny, ale pro některá další studia. Tato scéna výrazně ovlivnila průběh hodnot naměřených během dvacetičtyřhodinového měření programu ČT24. Ve dvacetičtyřhodinovém měření ČT24 zabírala cca jednu třetinu vysílání, což se výrazným způsobem projevilo na celkovém výsledku (viz. Obr. 7.12).

8.1.4 Závěrečné hodnocení typů scén

U všech dlouhodobých dvacetičtyřhodinových měření byl zhotoven záznam, který umožnil tvorbu závislosti měřených veličin (DVQL-W, SA, TA a DataRate) na typu obsahu obrazu. Závěr ukázal vliv typu obrazu na metriky objektivního hodnocení. U dynamických scén (u fotbalového utkání a Televizních novin) byl splněn předpoklad velkých změn metrik SA a TA, jejichž průměrné i okamžité hodnoty byly vyšší než u scény probíhající ve studiu. Pro scénu probíhající ve studiu byly rovněž typické změny SA a TA, ale jejich počet výskytu byl menší.

Z naměřených výsledků je patrné, že podrobným hodnocením časového úseku lze stanovit typické změny probíhající v čase mezi jednotlivými snímky obrazového typu (TA), typem struktury a frekvencí obrazu (SA) a typických pro samotnou kvalitu DVQL-W.

Datová rychlost je taktéž závislá na typu obsahu obrazu videa. Její hodnota je vyšší u dynamických typů obsahu videa obrazu. U statických scén dosahuje naopak nižších hodnot.

Pro podrobnější hodnocení obrazu je vhodné nastudovat celý průběh scény podle naměřených hodnot. Program Quality Monitor měří všechny veličiny v intervalu 0,4s, což oproti uvedeným pětisekundovým změnám vystihuje daný průběh dokonaleji. Při hodnocení všech uvedených scén byla proto provedena důkladnější analýza prostudováním všech naměřených hodnot během časového intervalu pěti minut. Bylo zde použito i nahraných záznamů, podle kterých jsou jednoznačně vidět závislosti daných změn. Měřené pětiminutové úseky z intervalem měření 5s díky této důkladné analýze nebyly zcela náhodné. A mohou být považovány za přesnou charakteristiku dané scény.

9 ZÁVĚR

V teoretické části práce byl popsán Paketový elementární tok, měřený multiplex transportního toku MPEG-2 TS, typy informačních tabulek definovaných pro MPEG-2 TS, přístup k programu

Dále práce popisuje subjektivní a objektivní metody hodnocení kvality obrazu, jejich užití a postupy při jejich aplikaci. Ze subjektivních metod byla v měřeních využita zejména metoda SSCQE, na jejímž základě bylo sestaveno hodnocení výsledků měření kvality obrazu videa. Stejně jako subjektivní metody jsou v práci popsány i objektivní metriky hodnocení kvality obrazu. Zejména se jedná o metriky DVQL-W, DVQL-U, SA, TA,

Jsou zde popsány měřicí přístroje DVQ, DVMD a programy MPEG-2 Realtime Monitor a Quality Monitor. Těchto přístrojů a programů bylo využito u všech provedených měření.

Hlavní náplní bakalářské práce byla měření kvality a výskytu chyb v obrazovém signálu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T, která byla realizována v laboratoři televizní techniky UREL FEKT VUT v Brně. Pomocí hardwaru dekodéru DVMD, analyzátoru kvality DVQ, softwarového vybavení MPEG-2 Realtime Monitor a Quality Monitor byly provedeny krátkodobé a dlouhodobé měření kvality a výskytu chyb. U krátkodobých měření byla navíc provedena analýza programového obsahu transportního toku multiplexů 1. a 2.

Po sestavení nového pracoviště bylo provedeno pět dvacetičtyřhodinových měření sítí multiplexu 1. a 2., u nichž byly voleny programy podle předem předvídaného typu programového obsahu, který se ve výsledku projevil na rozložení kvality během měření. Během dvacetičtyřhodinových měření bylo zároveň provedeno měření kvality a výskytu chyb v MPEG-2 TS. Bylo zde naměřeno minimum chyb, které měly v minimální míře vliv na dekódování TS. Při dvacetičtyhodinových měřeních byly naměřeny kvanta dat (230 tisíc), jejichž analýza byla provedena v prostředí programu Microsoft Excel 2007. Analýzou byly dokázány nedostatky komprimovaného formátu MPEG-2 TS, jehož komprimace měla zásadní vliv na kvalitu obrazu.

U všech dlouhodobých dvacetičtyřhodinových měření byl zhotoven záznam, který umožnil tvorbu závislosti měřených veličin (DVQL-W, SA, TA a DataRate) na typu obsahu videa obrazu. Závěr ukázal vliv typu obrazu na metriky objektivního hodnocení. U dynamických scén (u fotbalového utkání a Televizních novin) byl splněn předpoklad velkých změn metrik SA a TA, jejichž průměrné i okamžité hodnoty byly vyšší než u scény probíhající ve studiu. Pro scénu probíhající ve studiu byly typické minimální změny SA a TA, jejich průběh závisel na typu studia.

Na závěr byl na základě nově sestaveného pracoviště zhotoven návod nové laboratorní úloha slučující úlohy 7. a 8. předmětu Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV), (Příloha A). V příloze B je k této nové úloze vypracován vzorový protokol.

LITERATURA

[1] HANUS, S. *Základy televizní techniky III.* Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. ISBN 978-80-214-4206-1.

[2] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). Laboratoře.* Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. s. 1-52.

[3] FISHER, W. *Digital Television. A practical Guide for Engineers*. Germany, Muchen, Rohde&Schwarz, Springer 2004. ISBN 3-540-01155-2.

[4] ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). *Technical report. Digital Video Broadcasting (DVB*); Measurement guidelines for DVB systéme. European Broadcasting Union, 2001.

[5] BEDNARZ, R. *Analýza kvality obrazu v digitálních televizních systémech.* Diplomová práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.

[6] R&S®DVQ Digital Video Quality Analyzer. Always in the picture about picture quality - [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na www: http://rohdeschwarz.com/

[7] R&S®DVMD *MPEG2 Measurement Decoder. Analzyer for MPEG2 transport stream* - [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na www: http://rohdeschwarz.com/

[8] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). Přednášky.* Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. s. 1-268.

[9] INFORMAČNÍ SERVER O DIGITÁLNÍM VYSÍLÁNÍ: Lupo Media s. r. o. 1999-2011 [online, 2011-05-07]. Dostupný z www: <http://www.digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/vysilaci-sit-2.html>.

[10] INFORMAČNÍ SERVER O DIGITÁLNÍM VYSÁLÁNÍ: Lupo Media s. r. o. 1999-2011 [online, 2011-05-07]. Dostupný z www: <http://www.digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/vysilaci-sit-1.html>.

[11] ŽALUD, V. *Moderní Radioelektronika.* BEN – technická literatura, Praha 2000. ISBN 80-86056-47-3.

[12] FISHER, W. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*. A practical guide. Springer, 2008. ISBN 978-3-540-76357-4.

[13] BEDNÁŘ, J, GREGORA, P. *Příjem DVB-T*. BEN, Praha 2007. 136 s. ISBN 978-80-7300-221-3.

[14] WU, H. R., RAO K. R. *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*. Taylor&Francis Group. s. 1-600. ISBN 0-8247-2777-0.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BAT (**B**ouquet **A**ssociation **T**able) – chyba

CAT (**C**onditional **A**ccess **T**able)

CRC (**C**yclic **R**edundancy **C**heck)

DSCQS (**D**ouble **S**timulus **C**ontinous **Q**uality **S**cale) – subjektivní hodnocení obrazu

DSIS (**D**ouble **S**timulus **I**mpairment **S**cale) – subjektivní hodnocení obrazu

DVB-T (**D**igital **V**ideo **B**roadcasting - **T**errestrial) – standart pozemního televizního vysílání

DVMD (MPEG-2 TS **D**igital **V**ideo **M**easurement **D**ecoder) – MPEG-2 TS měřící dekodér

DVQ (**D**igital **V**ideo **Q**uality) - analyzátor kvality digitálního videosignálu

DVQL-U (**D**igital **V**ideo **Q**uality **L**evel – **U**nweighted) metrika objektivního měření kvality obrazu

DVQL-W (**D**igital **V**ideo **Q**uality **L**evel – **W**eighted) metrika objektivního měření kvality obrazu

EIT (**E**vent **I**nformation **T**able)

MPEG-2 TS (**M**ontion **P**icture **E**xperts **G**roup - **2** **T**ransport **S**tream) ztrátový komprimační formát používaný u DVB-T

NIT (**N**etwork **I**nformation **T**able)

PAT (**P**rogram **A**ssociation **T**able) tabulka obsahující seznam programů transportního toku

PES (**P**acketized **E**lementary **S**tream) – Paketový elementární tok

PCR (**P**rogram **C**lock **R**eference)

PID (**P**acket **ID**entifier) - identifikátor paketu

PMT (**P**rogram **M**ap **T**able) - tabulka obsahující ukazatele na pakety programu

PTS (**P**resentation **T**ime **S**tamp)

SA (**S**pectral **A**ktivity) – spektrální aktivita obrazu

SSCQE (**S**ingle **C**ontinuous **Q**uality **E**valuation) – subjektivní hodnocení obrazu

TA (**T**emporal **A**ctivity) – časová aktivita obrazu

TS (**T**ransport **S**tream) - transportní tok

OBSAH PŘÍLOHY

A Příloha – Laboratorní úloha……..75

B Příloha – Vzorový protokol……85

A PŘÍLOHA – LABORATORNÍ ÚLOHA

Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV)

Laboratorní úloha č.8

Měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T

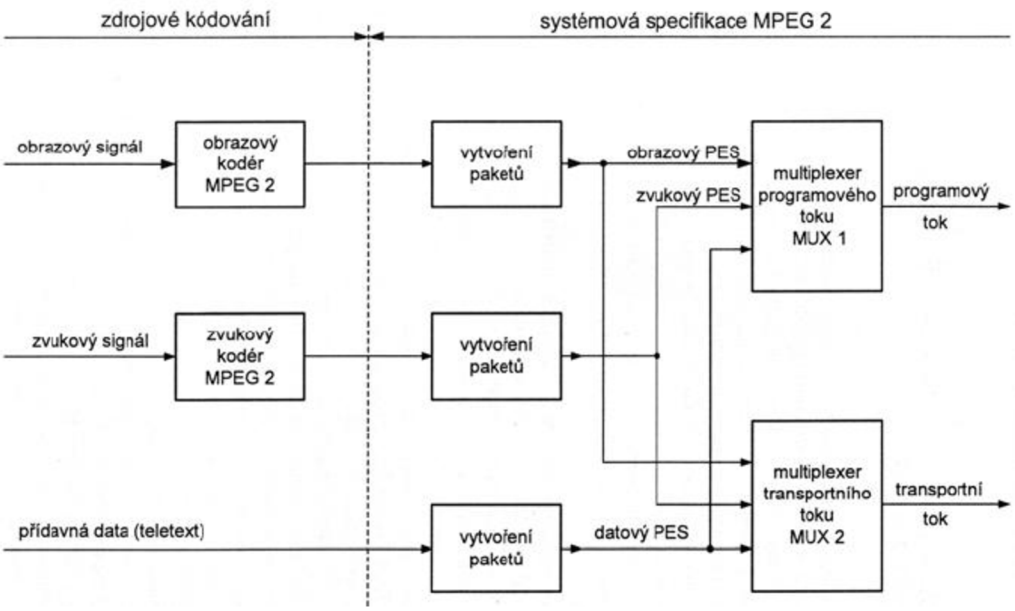
Účelem úlohy je měření kvality a výskytu chyb v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu pozemního televizního vysílání v síti 1. a 2. Během měření získáte základní představu o metodách měření kvality SSCQE a objektivních metrikách DVQL-W a dále o spektrální SA, temporální TA aktivitě hodnoceného obrazu. Při měření chyb získáte představu o analýze programových a transportních toků. K automatizovanému měření je využito analyzátoru kvality obrazu DVQ a programu Quality Monitor. K měření chyb je využit dekodér DVMD a program MPEG2 Realtime Monitor.

Teoretický úvod – měření chyb

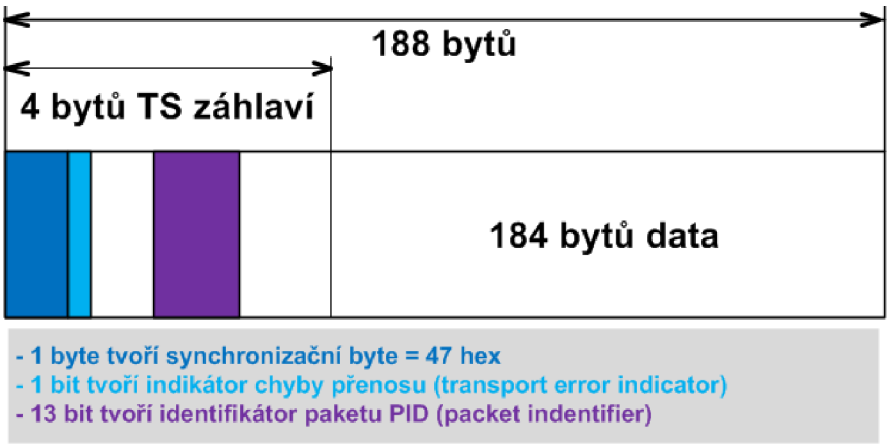
Proces tvorby paketovaných bitových toků pro standard MPEG-2 je uveden na Obr. 9.1. Datové toky se skládají z obrazu, zvuku a dat. Jsou rozděleny na pakety PES (Packetized Elementary Stream) s informačním záhlavím, které usnadňuje další zpracování (uchování kratších celků v paměti, snadné scramblování založeného na přemísťování paketů v paměti, snadná synchronizace obrazu, zvuku a přídavných dat atd. Po vytvoření paketů PES je prostřednictvím multiplexu vytvořen výsledný programový nebo transportní tok [1].

MPEG-2 Transportní tok

Transportní tok MPEG-2 TS (viz. Obr. 9.2) se skládá z paketů, které mají konstantní délku. MPEG-2 TS je uspořádán do paketů o 188 bytech, kde 4 byty tvoří záhlaví transportního paketu a 184 bytů tvoří tzv. užitečnou část, kterou tvoří data paketu. Data paketu mohou obsahovat video, audio nebo obecné údaje. Záhlaví obsahuje položky důležité pro přenos paketů. První byte záhlaví tvoří synchronizační byte (Sync Byte). Synchronizační byte má vždy hodnotu 47_{hex} a opakuje se po 188 bytech. Již z názvu vyplývá, že se synchronizační byte používá k synchronizaci paketu transportního toku. Dalším důležitým faktorem v transportním toku je 13 bitový paketový identifikátor (Packed Identifier), jemuž odpovídá zkratka PID. PID popisuje aktuální obsah části užitečného zatížení tohoto paketu. Bit následující po synchronizačním bytu je indikátor informující o chybách přenosu (transport error indicator). V záhlaví se objevují ještě mnohé další bity, například priorita přenosu, která tvoří 1 bit, řízení skramblovacího procesu, jež tvoří 2 bity [2].



Obr. 9.1 Vytváření programového a transportního toku ve standardu MPEG-2 (převzato z [1])



Obr. 9.2 Paket MPEG-2 TS (graficky upraveno a převzato z [2])

Multiplex transportního toku MPEG-2 TS

V rámci jednoho kanálu představuje spojení zdrojových datových toků jednotlivých služeb (viz. Obr. 9.2). Například spojení jednoho či více obrazových nebo zvukových datových toků, teletextových dat, obecných dat atd. Jediným omezujícím faktorem je kapacita kanálu, které se může dynamicky přizpůsobovat konfigurace multiplexního systému. Dekodér v přijímači sleduje změny automaticky. Proto je zde zaveden PSI (Program Specific Information), což je pomocný datový kanál sloužící k synchronizaci.

Přijímací strana umožňuje dekódovat jenom datový tok dané služby. Za tohoto stavu není nutné použití úplného demultiplexování. Multiplexem lze snadně vkládat i oddělovat datové toky jednotlivých služeb, což umožňuje jejich kombinování bez demultiplexování nebo dokonce dekódování a nového kódování celého datového toku [1].

Možné typy informačních tabulek definovaných pro MPEG-2 a DVB standard [1]:

- **PAT** (Program Association Table) – je tabulka, která obsahuje seznam programů transportního toku multiplexu a ukazatele PID na čísla paketů, vztahující se k tabulce PMT.
- **PMT** (Program Map Table) je tabulka, která obsahuje ukazatele na individuální pakety programu, dále obsahuje název programu, informace o copyrightu programu.
- **CAT** (Conditional Access Table) – tabulka obsahuje informace pro podmíněný přístup k programu.
- **NIT** (Network Informatik Table) – tabulka obsahuje názvy a popisy všech služeb, které poskytuje operátor.

Další tabulky definuje už jen standard DVB [1]:

- **BAT** (Bourget Association Table) – je tabulka obsahující informace o programech jednoho operátora, tyto informace jsou vysílány po různých trasách
- **SDT** (Service Description Table) – tabulka popisující služby, které obsahují názvy a parametry služeb vysílaného multiplexu transportního toku
- **EIT** (Event Informatik Table) – je tabulka informací obsahující informace o změnách, které nastanou v aktuálně dekódovaném TS, jedná se o elektronického programového průvodce
- **TDT** (Time and Data Table) – slouží k řízení vnitřních hodin dekodéru přijímače
- **RST** (Running Status Table) – jedná se o informace o aktuálně dostupných programech

Teoretický úvod – měření kvality

Komprimace obrazu MPEG-2 je zajištěna diskrétní kosinovou transformací DCT, jejíž výsledkem je snížení přenosové rychlost. Komprimace obrazového signálu s sebou nese ztrátu nadbytečných (redundance) a zbytečných (irelevance) informací a tím i zhoršení kvality přenášeného obrazu po dekódování.

K měření obrazové kvality se používají metriky subjektivního a objektivního hodnocení. Subjektivní hodnocení kvality obrazu je založeno na využití lidského faktoru. To znamená, že využívá skupiny pozorovatelů, kteří po předem stanovenou dobu (podle typu metody subjektivního hodnocení) pozorují obraz, přičemž pomocí definované stupnice určují, na základě jejich vlastního subjektivního dojmu kvalitu hodnoceného obrazu. Při tomto hodnocení pozorovatelům je i není zobrazen referenční obraz. Výsledek tohoto testu určí průměrnou hodnotu hodnocení skupiny uživatelů. Nejznámější metoda je SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation) [1].

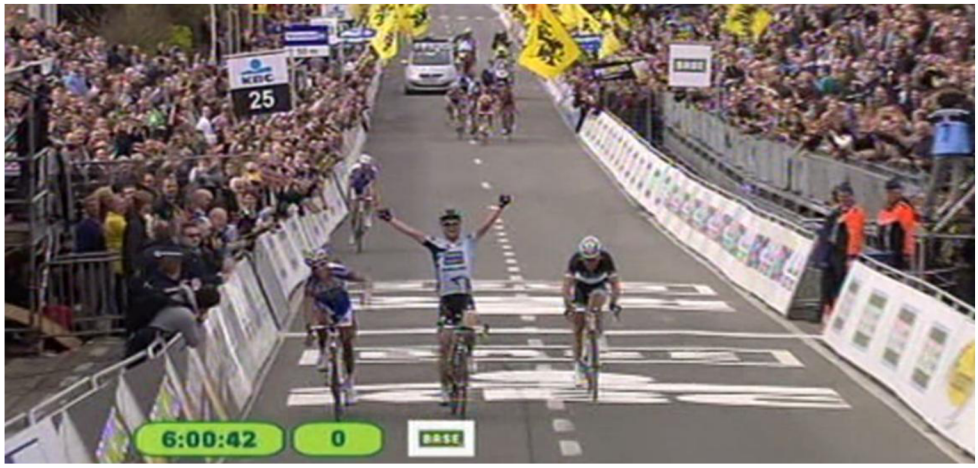
Analyzátor kvality digitálního video signálu DVQ je založen na využití subjektivní metody měření SSCQE (viz. Tab. 9.1). Používá vyhodnocovací metriky: neváženou hodnotu DVQL-U (Digital Video Quality Level – Unweighted), jež je vyhodnocována ve všech třech kanálech YC_BC_R a vážené metody DVQL-W (Digital Video Quality Level – Weighted) (viz. Obr 9.9). Veličiny obou metrik mohou nabývat hodnoty od 0 % (špatná kvalita signálu) do 100 % (výborná kvalita signálu). Měřením je vyhodnocován rozdíl mezi jednotlivými pixely obrazu probíhající na úrovni jednotlivých bloků (8 x 8 pixelů) a makrobloků (16 x 16 pixelů). Výsledek měření není závislý jen na změřené kvalitě (v našem případě zejména metrikou DVQL-W), ale i na typu scény. Dosažení dobré korelace výsledků je podmíněno informacemi

o vlastnostech obrazu v prostorové a časové (frekvenční) oblasti [1].

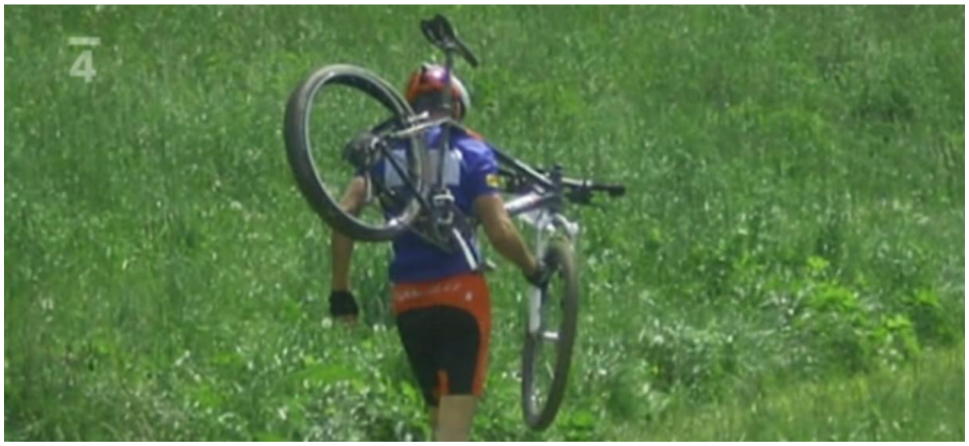
Tab. 9.1 Bodové hodnocení odpovídající subjektivnímu hodnocení testu SSCQE [2]

Bodové honocení	Kvalita obrazu	Poškození obrazu
100 - 80	výborná (excellent)	nevnímatelné
79 - 60	dobrá (good)	vnímatelné, neruší
59 - 40	uspokojivá (fair)	vnímatelné, mírně ruší
39 - 20	nízká (poor)	rušivé
19 - 0	špatná (bad)	velmi rušivé

Pro dosažení dobré korelace v prostorové a časové oblasti byly zavedeny prostorová aktivita SA (Spectral Aktivity) a časová aktivita TA (Temporal Aktivity). Spektrální aktivita je závislá na frekvenčním obsahu obrazu. Vysoké SA je dosaženo u strukturovaných obrazů a nízké u monochromatického obrazu. Časová aktivita indikuje změnu v obraze v po sobě následujících snímcích. Vysoké TA je dosaženo u dynamických scén a naopak nízké TA u déle trvajícího monochromatického snímku (statický obraz). Příklady SA a TA (viz. Obr. 9.3 a 9.4).



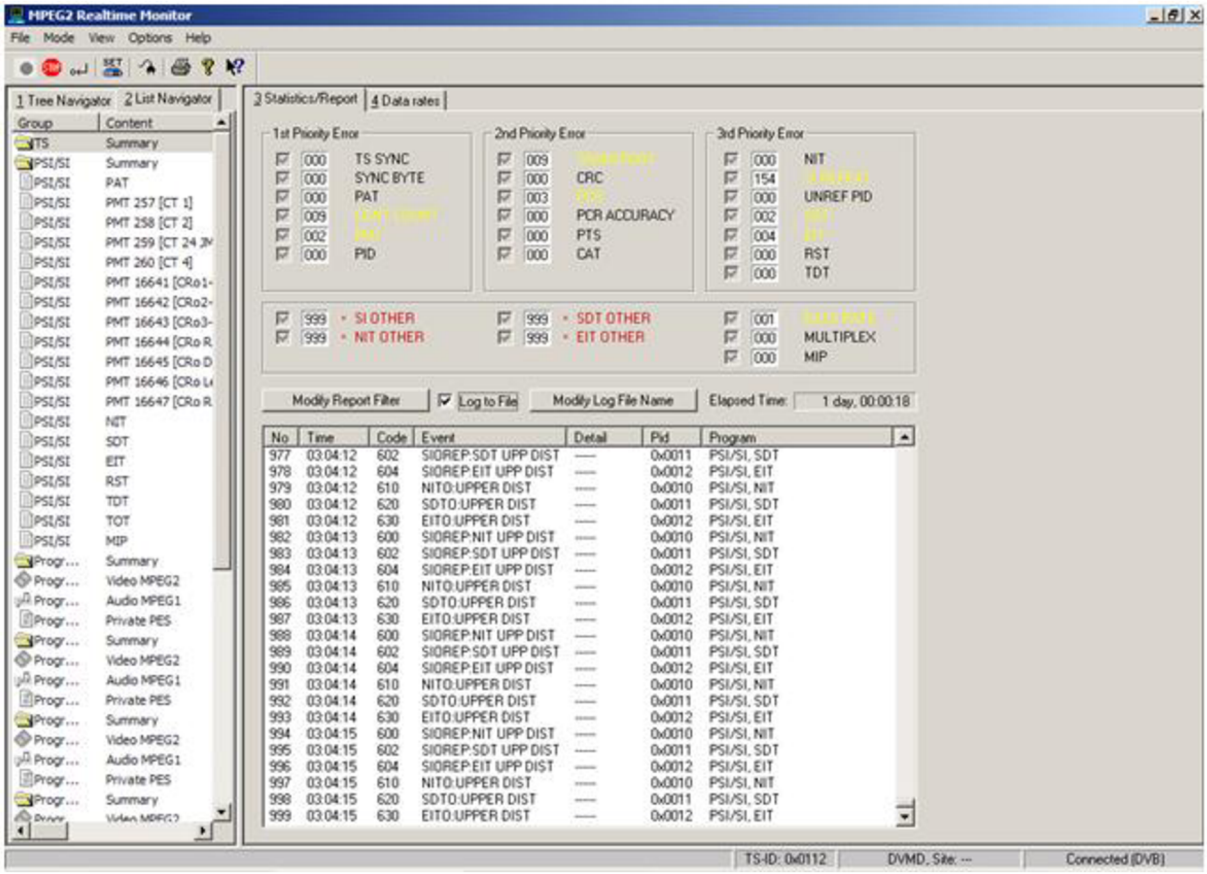
Obr. 9.3 Snímek s vysokou prostorovou SA a časovou TA aktivitou.



Obr. 9.4 Snímek s nízkou prostorovou SA a časovou TA aktivitou.

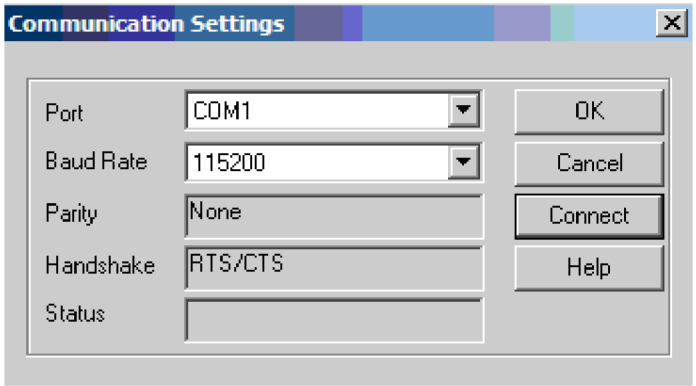
MPEG-2 Realtime Monitor (ovládací software) úlohy č. 7

K měření chyb transportního toku je použito programu MPEG-2 Realtime Monitor (Obr. 9.5), který přes rozhranní RS232 komunikuje s analyzátorem kvality DVMD (Rohde&Schwarz) [1].



Obr. 9.5 Prostředí programu MPEG-2 Realtime Monitor při analýze chyb prostřednictvím dekodéru DVMD.

Nastavení komunikace mezi přístrojem DVMD a programem MPEG-2 Realtime Monitor je naznačeno na Obr. 9.6.



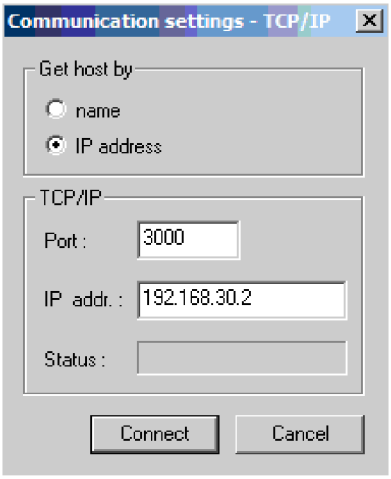
Obr. 9.6 Nastavení komunikace přes rozhraní RS232 (komunikace mezi dekodérem DVMD a programem MPEG-2 Realtime Monitor)

MPEG-2 Quality Monitor (ovládací software) úlohy č. 8

K měření kvality obrazu je použito programu MPEG-2 Quality Monitor (Obr. 9.7), který prostřednictvím protokolu TCP/IP komunikuje s analyzátorem kvality DVQ (Rohde&Schwarz). [1].

Obr. 9.7 Typické průběhy tvořené měřením kvality v programovém prostředí Quality Monitor při měření analyzátorem DVQ

Nastavení IP adresy přístroje DVQ u nastavení komunikace s programem MPEG-2 Quality Monitor je vidět na Obr. 9.8, kde je vybrán port 300 a potřebná IP adresa.



Obr. 9.8 Nastavení IP adresy a portu pro komunikaci mezi analyzátoru DVQ a programem Quality Monitor.

Zadání a postup měření

1. Seznamte se s obsluhou analyzátoru transportního toku MPEG-2 TS DVMD a s analyzátorem kvality digitálního videosignálu DVQ. Návody k oběma přístrojům jsou součástí pracoviště laboratorní úlohy. **Během obsluhy analyzátorů DVQ a DVMD je zakázáno provádět náhodné a nepromyšlené změny nastavení přístrojů!**

2. Vyučující Vám zadá a nastaví program ze sítě 1. nebo 2, na kterém budou probíhat veškerá další měření. Po výběru programu musí být měřící přijímač TVA přepnut na zobrazení funkce Service List (seznam programů v transportním toku).

   Nastavení Service List: Na TVA zvolíte *ikonu TV* a tlačítko u displeje *Serv*.

3. Pomocí programu MPEG-2 Realtime Monitor proveďte podrobnou analýzu statistiky generovaného transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o chyby jednotlivých priorit (1., 2. a 3. priority) a jejich kódy. V záložce *4 Data rates* bude zároveň probíhat měření datových toků hodnotícího multiplexu (zvoleného vyučujícím).

   Postup MPEG2 Realtime Monitor: Spustíte program MPEG2 Realtime Monitor, který je umístěný na ploše. Zvolíte *3 Statistic/Report* a tlačítkem *Reset* (ikona vedle tlačítka *Stop*) vymažete veškeré předchozí záznamy naměřených chyb. Poté zeleným tlačítkem *Start Monitoring* zahájíte třicetiminutové měření. Zároveň bude v záložce *4 Data rates* probíhat měření datových toků.

4. Proveďte pomocí analyzátoru DVQ podrobnou analýzu programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o údaje o jednotlivých programech transportního toku. Ovládání analyzátoru je zajištěno pomocí kurzorových tlačítek ← ↓ ↑ →, Enter a Esc a informace o měření jsou zobrazovány na OSD připojeného televizního monitoru TVP [1].

   Postup: Stisk tlačítka *DECOD* a dále tlačítka pod displejem – *Control* (Program Mbs,VideoPID, AudioPID), *Info* (Program,Video stream PID – framerate, Profile/level, Hor size/pix, Vert size/pix a Audio Frame PID – MPEG, Coding Mode, Sampl Rate, Bit Rate) [1].

5. Proveďte pomocí analyzátoru DVQ a programu Quality monitor podrobnou analýzu kvality obrazu každého programu v hodnoceném transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o údaje metriky DVQL-U a DVQL-W a SA, TA jednotlivých programů transportního toku. Všechny uvedené hodnoty metrik se mění dynamicky v čase, pokud si tedy budete chtít poznamenat měřenou hodnotu, je třeba zastavit měření pomocí funkce *Stop* a *Continue* nebo měřit hodnoty v intervalu cca 30 sec. Během měření kvality je potřeba přepínat jednotlivé programy v transportním toku podle postupu uvedeném v předchozím bodě. Měření pomocí programu *Quality Monitor* zachycuje měřené metriky průběžně v čase [1].

   Postup: Stisk tlačítko *MEAS* (kontrola datových toků Data rates Mbit/s, TS, Video,

   Audio) a dále tlačítka pod diplejem – *Details* – *Param* DVQL-Unweighted 3 složky YC_BC_R, DVQL-Weighted pouze 1 složka váženého průměru – *Disp Mode* numeric, bargraph, histogram, longtime – *Peak* hold on/off/time – *Stop* Restart, Continue [1].

6. Prohlédněte si statistiku měření kvality (DVQ, Quality Monitor) transportního toku a měření obrazových metrik. Po skončení měření vaši statistiku smažte. Poté si v programu MPEG-2 Realtime Monitor prohlédněte statistiku monitorování chyb a měření datových toků (po uplynutí měřeného intervalu 30 min.).

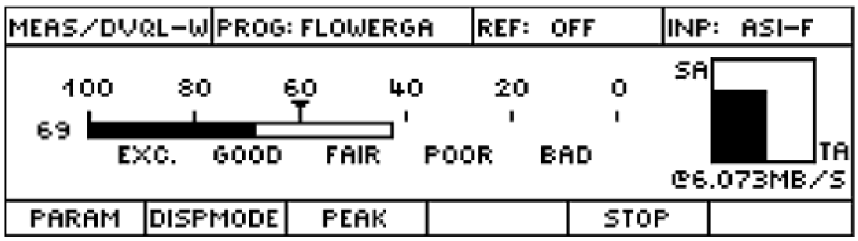
Postup - kvalita: Stisk tlačítka *MEAS* a dále tlačítka pod diplejem – *Statistics* – a případně vymazání statistiky *Reset.*

Postup – monitorování chyb a datových toků: V záložce *3 Statistic/Report* jsou uvedeny naměřené chyby a v záložce *4 Data rates* jsou naměřeny datové toky.

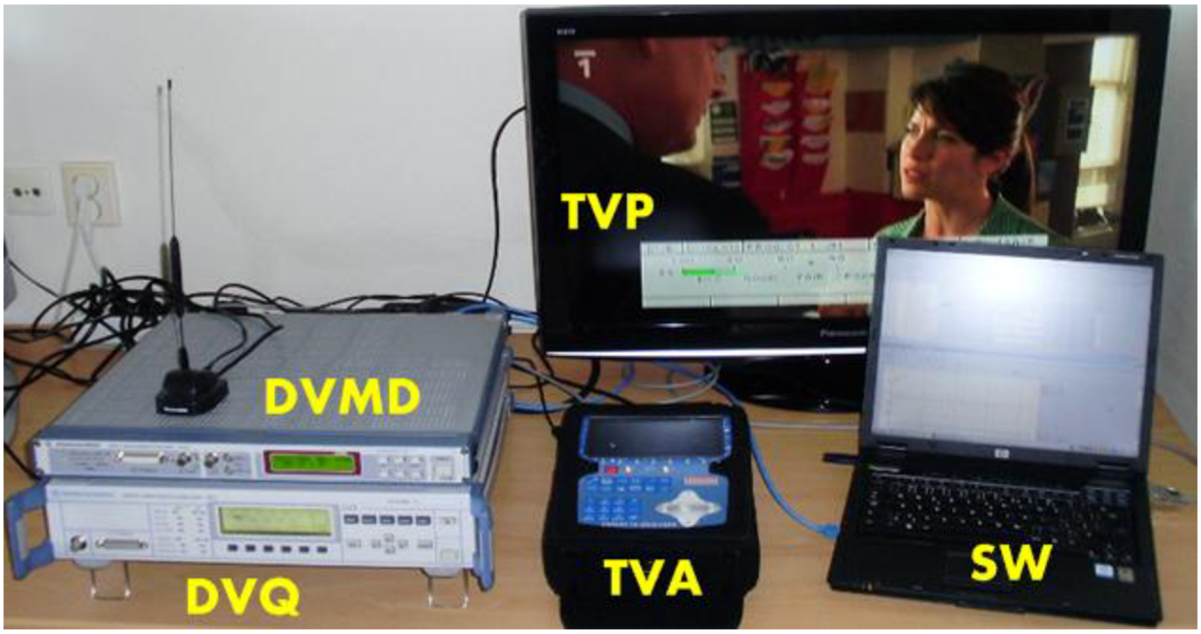
7. Prohlédněte si statistiku měření kvality a výskytu chyb transportního toku a měření datových toků jednotlivých programů. Po skončení měření vaši statistiku smažte. Shrnutí výsledků úlohy: Proveďte základní orientační měření kvality transportního toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1 nebo 2. Poznamenejte si informace o celém transportním toku MPEG-2 TS, datové toky jednotlivých televizních programů a jejich zvukových doprovodů, identifikátory Video-PID a Audio-PID jednotlivých programů, kvalitu obrazu každého programu v metrice DVQL-U a DVQL-W apod. Cílem měření chyb bylo provést základní orientační měření výskytu chyb v transportního toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1 nebo 2. Měli byste mít k dispozici informace o celém transportním toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1. nebo 2. (podle zadaného vyučujícím zadaného multiplexu).

Poznámky k měření

1. K laboratornímu notebooku se přihlásíte jako **„Workstation only“**, login **„student“**, password **„student“**. Během měření je zakázáno surfování po internetu (vyjma stránek zabývajících se tématikou měřené úlohy), připojování se k FTP serverům a používání vlastních pamětí USB!
2. Během měření můžete využívat manuálů dostupných na pracovišti. Dále je důležité zkontrolovat zapojení hardwarových klíčů (DVQ-B1 a DVMD-B1) do počítače. Při měření bez těchto klíčů se výsledek měření výrazně zkresluje.
3. Během obsluhy analyzátorů DVMD a DVQ se rozhodně vyvarujte náhodné a nepromyšlené změně parametrů nastavení. Správné nastavení přístroje pracoviště pro hodnocení kvality digitálního obrazu není obtížné, avšak vyžaduje přesný logický postup a kontrolu jednotlivých kroků. V případě pochybností nebo problémů při nastavení přístroje zavolejte učitele [5].
4. **Po zapnutí programu MPEG-2 Realtime Monitor nelze obsluhovat dekodér DVMD. A rovněž je-li zapnut program Quality Monitor, nelze provádět změny na analyzátoru kvality DVQ!!! Ale současná práce na analyzátoru DVQ při zapnutém programu monitorujícím chyby (MPEG-2 Realtime Monitor) je možná.**



Obr. 9.9 Měření metrikou DVQL-W a SA a TA na přístroji DVQ (převzato z [2])



Obr. 9.10 Rozmístění přístrojů laboratorního pracoviště – úloha č. 8.

Použité měřící přístroje

DVQ	analyzátor kvality digitálního videosignálu Rohde & Schwarz DVQ
SW	program MPEG-2 Quality Monitor pro analýzu měření DVQ
DVMD	MPEG-2 TS měřící dekodér Rohde & Schwarz DVMD
SW	program MPEG-2 Realtime Monitor pro analýzu měření DVMD
TVA	DVB-T analyzátor pozemního vysílání Sefram 7865 + napájecí zdroj
TVP	televizní monitor Panasonic Viera
propojovací vodiče:	1 x BNC-CINCH, 2 x BNC-BNC (TS ASI), rozhraní RS 232
hardwarové klíče:	DVQ-B1 (měření kvality) a DVMD-B1 (měření chyb)
anténa:	TechniSat

Závěr

V závěru provede každý student vlastní hodnocení naměřených výsledků. Závěrem by měly být logicky zhodnoceny naměřené výsledky. Je třeba podrobně komentovat každý bod měření, všechny výsledky a každou grafickou závislost. Závěr by měl obsahovat logický komentář vztažený k naměřeným veličinám.

Kontrolní otázky

1. Jakou programovou a datovou strukturu má transportní tok MPEG-2 TS ?
2. Jaký vliv mají chyby dané priority 1., 2. a 3 na transportní tok MPEG-2 TS? Které chyby mají přímý vliv na dekódování TS nebo programů? Rozdělte chyby podle jejich priority?
3. Na jakém principu je založena metoda hodnocení kvality obrazu pomocí metriky DVQL? Jakým způsobem je hodnocený obraz analyzován?
4. Jak byste charakterizovali prostorovou (SA) a časovou (TA) aktivitu obrazu programu digitální TV? Jaké typy obrazových snímků mají minimální a maximální prostorovou a časovou aktivitu?

Použitá a doporučená literatura

[1] KRATOCHVÍL, T, *Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV). Laboratoře..* Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. s 1 – 52.

[2] FISHER, W. *Digital Television. A practical Guide for Engineers*. Germany, Muchen, Rohde&Schwarz, Springer, 2004. ISBN 3-540-01155-2.

[3] EITS IR 101 ITU. *Methodology for the subjective assesment of the quality of television pictures.*Doporučení ITU-R BT.500-11, 2002.

[4] R&S®DVQ Digital Video Quality Analyzer. Always in the picture about picture quality quality - [cit. 1.5. 2010]. Dostupné na <www: http://rohdeschwarz.com>.

[5] R&S®DVMD *MPEG2 Measurement Decoder. Analzyer for MPEG2 transport stream* - [cit. 1. 5. 2010]. Dostupné na <www: http://rohdeschwarz.com>.

B PŘÍLOHA – VZOROVÝ PROTOKOL

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět **MDTV** UREL ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY	
	Jméno **Jiří Kadlček**	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy **8.**	Název úlohy **Měření kvality a výskytu chyb digitálního obrazu v MPEG-2 TS při příjmu DVB-T**	

Zadání

4. Seznamte se s obsluhou analyzátoru transportního toku MPEG-2 TS DVMD a s analyzátorem kvality digitálního videosignálu DVQ. Návody k oběma přístrojům jsou součástí pracoviště laboratorní úlohy. **Během obsluhy analyzátorů DVQ a DVMD je zakázáno provádět náhodné a nepromyšlené změny nastavení přístrojů!**

5. Vyučující Vám zadá a nastaví program ze sítě 1. nebo 2, na kterém budou probíhat veškerá další měření. Po výběru programu musí být měřící přijímač TVA přepnut na zobrazení funkce Service List (seznam programů v transportním toku).

6. Pomocí programu MPEG-2 Realtime Monitor proveďte podrobnou analýzu statistiky generovaného transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o chyby jednotlivých priorit (1., 2. a 3. priority) a jejich kódy. V záložce *4 Data rates* bude zároveň probíhat měření datových toků hodnotícího multiplexu (zvoleného vyučujícím).

4. Proveďte pomocí analyzátoru DVQ podrobnou analýzu programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o údaje o jednotlivých programech transportního toku. Ovládání analyzátoru je zajištěno pomocí kurzorových tlačítek ← ↓ ↑ →, Enter a Esc a informace o měření jsou zobrazovány na OSD připojeného televizního monitoru TVP [1].

5. Proveďte pomocí analyzátoru DVQ a programu Quality monitor podrobnou analýzu kvality obrazu každého programu v hodnoceném transportního toku MPEG-2 TS. Jedná se zejména o údaje metriky DVQL-U a DVQL-W a SA, TA jednotlivých programů transportního toku. Všechny uvedené hodnoty metrik se mění dynamicky v čase, pokud si tedy budete chtít poznamenat měřenou hodnotu, je třeba zastavit měření pomocí funkce *Stop* a *Continue* nebo měřit hodnoty v intervalu cca 30 sec. Během měření kvality je potřeba přepínat jednotlivé programy v transportním toku podle postupu uvedeném v předchozím bodě. Měření pomocí programu *Quality Monitor* zachycuje

měřené metriky průběžně v čase [1].

6. Prohlédněte si statistiku měření kvality (DVQ, Quality Monitor) transportního toku a měření obrazových metrik. Po skončení měření vaši statistiku smažte. Poté si v programu MPEG-2 Realtime Monitor prohlédněte statistiku monitorování chyb a měření datových toků (po uplynutí měřeného intervalu 30 min.).
7. Prohlédněte si statistiku měření kvality a výskytu chyb transportního toku a měření datových toků jednotlivých programů. Po skončení měření vaši statistiku smažte. Shrnutí výsledků úlohy: Proveďte základní orientační měření kvality transportního toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1 nebo 2. Poznamenejte si informace o celém transportním toku MPEG-2 TS, datové toky jednotlivých televizních programů a jejich zvukových doprovodů, identifikátory Video-PID a Audio-PID jednotlivých programů, kvalitu obrazu každého programu v metrice DVQL-U a DVQL-W apod. Cílem měření chyb bylo provést základní orientační měření výskytu chyb v transportního toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1 nebo 2. Měli byste mít k dispozici informace o celém transportním toku MPEG-2 TS při příjmu vysílací sítě 1. nebo 2. (podle zadaného vyučujícím zadaného multiplexu).

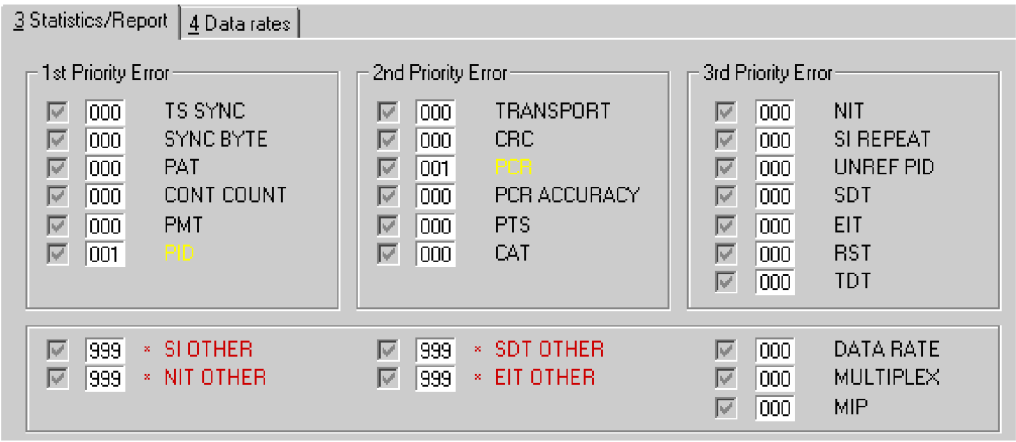
Použité měřicí přístroje

DVQ	analyzátor kvality digitálního videosignálu Rohde & Schwarz DVQ
SW	program MPEG-2 Quality Monitor pro analýzu měření DVQ
DVMD	MPEG-2 TS měřící dekodér Rohde & Schwarz DVMD
SW	program MPEG-2 Realtime Monitor pro analýzu měření DVMD
TVA	DVB-T analyzátor pozemního vysílání Sefram 7865 + napájecí zdroj
TVP	televizní monitor Panasonic Viera
propojovací vodiče:	1 x BNC-CINCH, 2 x BNC-BNC (TS ASI), rozhraní RS 232
hardwarové klíče:	DVQ-B1 (měření kvality) a DVMD-B1 (měření chyb)
anténa:	TechniSat

Vypracování

3 bod Výsledky třicetiminutového měření multiplexu 2

Pomocí programu MPEG-2 Realtime Monitor byl monitorován transportní tok druhé sítě (multiplexu 2.).



Obr. 9.11 Chyby naměřené během třicetiminutového monitorování multiplexu 2

V transportním toku byly naměřeny tyto chyby:

- chyba PID (chyba první priority)

- chyba PCR (chyba druhé priority)

1) Chyba PID může být způsobena:

Buď tím, že interval mezi dvěma stejnými PID byl v daném okamžiku menší než max. 500 ms, nebo tím, že paket transportního toku s PID ukazující do PMT nebyl obsažený v TS.

2) Chyba PCR může být způsobena:

PCR_Error nastane když u jednoho programu je rozdíl dvou po sobě následujících hodnot PCR větší než 100 ms.

Tab. 9.2: Datový tok multiplexu 2 měřený po dobu (t = 30 minut).

Síť	**Datové toky**	**datarate [Mbit/s]**	**absMax [Mbit/s]**
		bandwidth [%]	**absMin [Mbit/s]**
Multiplex 2	TS	21.600	21.600
		100%	21.600
	PSI/SI	0.3393	0.3862
		1.57%	0.2491
	Program 513 [NOVA]	4.0188	7.3863
		18.61%	2.3635
	Program 514 [NOVA CINEMA]	5.5482	7.2933
		25.69%	2.2875
	Program 769 [PRIMA]	2.7049	7.5485
		12.52%	1.3877
	Program 770 [PRIMA COOL]	2.9892	7.6226
		13.84%	1.2313
	Program 2049 [Barrandov]	3.4386	7.4666
		15.92%	2.3586

V tabulce 9.2 je vidět složení transportního toku, který se skládá z PSI/IS TS tabulek, televizních programů, rádií (multiplex 1) a nulových paketů. Televizní programy se skládají z videa (MPEG-2), audia (MPEG-1) a privátní tabulky PES.

4bod Podrobná analýza programového obsahu transportního toku MPEG-2 TS.

Tab. 9.3: Podrobná analýza programového obsahu hodnoceného transportního toku MPEG-2 TS (multiplex 2)

	Nova	**Nova-cinema**	**Prima**	**Prima-COOL**	**Baranndov**
CONTROL					
program ID	513	514	769	770	2049
video PID	101	401	201	501	301
audio PID	111	411	211	511	311
INFO					
Počet snímků za sekundu [Hz]	25	25	25	25	25
HOR size/pix	720	720	720	720	720
VERT size/pix	576	576	576	576	576
MPEG	LAYER II	LAYER II	LAYER II	LAYER II	LAYER II
Režim kódování	STEREO	MONO	STEREO	STEREO	STEREO
Vzorkovací frekvence [kHz]	48	48	48	48	48
Bitová rychlost [Mb/s]	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192

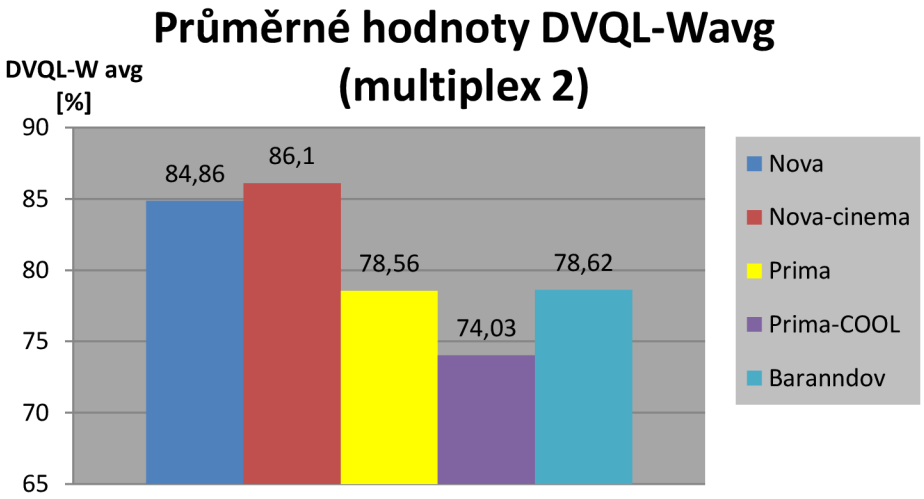
5 bod V tomto bodě byla provedena analýza pomocí analyzátoru DVQ software Quality monitor podrobná analýza kvality obrazu každého programu v hodnoceném transportního toku MPEG-2 TS. Jednalo se zejména o údaje metriky DVQL-U a DVQL-W a SA, TA jednotlivých programů transportního toku.

Tab. 9.4: Výsledky metody DVQL-U (multiplex 2)

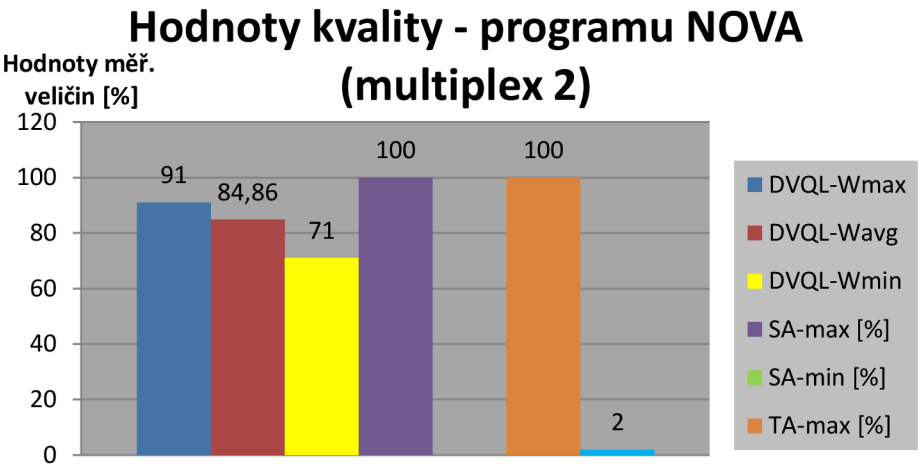
	Nova	Nova-cinema	Prima	Prima-COOL	Baranndov
MEAS					
TS	21 599	21 599	21 600	21 600	21 599
VIDEO	2 455	2 492	5 201	3 520	2 684
AUDIO	0,204	0,203	0,1	0,203	0,203
DETAILS					
DVQL-U(Y)	85/75%min	77/69%min	71/69%min	64/64%min	85/73%min
DVQL-U(Cb)	93/95%min	92/90%min	88/86%min	85/81%min	96/96%min
DVQL-U(Cr)	94/91%min	92/88%min	91/89%min	88/84%min	97/96%min
SA[%]	12	12	22	30	24
TA[%]	18	51	23	7	1
DISPMODE					
Y	84	61	70	57	86
CB	93	89	86	85	93
CR	93	89	88	92	93

Tab. 9.5 Výsledky metody měření kvality obrazu DVQL-W (multiplex 2) – data získaná z programu Quality Monitor

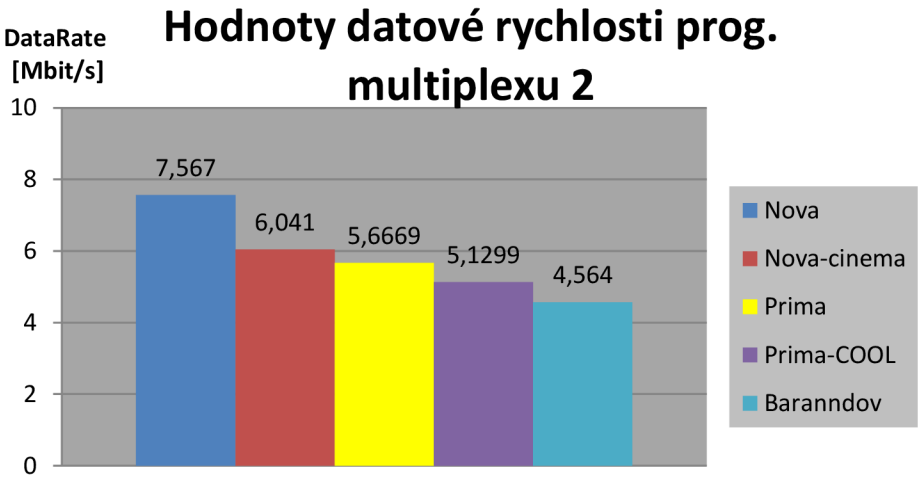
Prog. Name	**Nova**	**Nova-cinema**	**Prima**	**Prima-COOL**	**Baranndov**
	Picture Quality DVQL-W [%]				
DVQL-Wmax	91	95	97	88	90
DVQL-Wavg	84.86	86.10	78.56	74.03	78.62
DVQL-Wmin	71	69	63	59	67
	DR (Data Rate) [Mbit/s]				
Data Rate	7,567	6.0410	5.6669	5.1299	4.5640
Data Rate	1,77	2.0449	1.6610	1.9680	2.4359
	SA (Spectral Aktivity) [%]				
SA-max	100	31	50	38	95
SA-min	0	3	0	12	87
	TA (Temporal Activity) [%]				
TA-max	100	100	100	78	4
TA-min	2	4	0	1	0



Obr. 9.12 Průměrné hodnoty naměřené kvality u programů multiplexu 2



Obr. 9.13 Naměřené hodnoty veličin (DVQL-W, SA, TA) multiplexu 2



Obr. 9.14 Hodnoty datové rychlosti všech programů multiplexu 2

Závěr

3 bod

Monitorováním vybraného multiplexu 2 byly během 30 minut naměřeny chyby: PID_Error (chyby první priority) a PCR_Error (chyba druhé priority). V Tab 9.2 jsou měřeny datové toky multiplexu 2. Obojí měření chyb i datových toků probíhala současně. Transportní tok se skládá z PSI/IS TS tabulek, televizních programů, rádií (multiplex 1) a nulových paketů. Televizní programy se skládají z videa (MPEG-2), audia (MPEG-1) a privátní tabulky PES.

4 bod

Podrobnou analýzou programového toku zvolených programů multiplexu 2 byly naměřeny tyto hodnoty: program ID, Video PID, Audio PID, jejichž hodnoty se mění podle typu programu. Dále byly naměřeny: počet snímků za sekundu (25 Hz), vzorkovací frekvence (48 kHz), bitová rychlost (0.192 Mbit/s)-

5 bod

V tomto bodě byla provedena analýza pomocí DVQ analyzátoru a programu Quality Monitor. Byly zde změřeny hodnoty zobrazené v Tab. 9.4 a 9.5.

Grafická závislost (Obr. 9.12) popisuje průměrnou hodnotu kvality. Nejkvalitnější průměrné hodnoty kvality je dosaženo prog. Nova Cinema (86,1 %) a naopak nejnižší u prog. Prima Cool (74,03 %). Další obrázek (Obr. 9.13) popisuje maximální a minimální hodnoty naměřené v krátkém časovém intervalu (cca 3 minuty).

Z obrázku je vidět, že minimální hodnota kvality je na úrovni 71 %,což řadí minimální hodnotu kvality do kategorie dobré kvality obrazu (podle SSCQE stupnice). Naopak hodnoty prostorové a časové aktivity dosahu i během tohoto krátkého měření dosahovaly hodnot (SA = 0 až 100 %; TA = 2 až 100%). Z hodnot SA a TA je vidět, že tento měřený časový úsek obsahoval dynamické i statické snímky, členité obrazy z vysokou frekvencí i monochromatické obrazy.

Poslední obrázek (Obr. 9.14) ukazuje, že nejvyšší naměřené datové rychlosti bylo

dosaženo u Nova (7,567 Mbit/s).

Odpovědi na kontrolní otázky:

1. Jakou programovou a datovou strukturu má transportní tok MPEG-2 TS ?

Transportní tok se skládá z PSI/IS TS tabulek, televizních programů, rádií (multiplex 1) a nulových paketů. Televizní programy se skládají z videa (MPEG-2), audia (MPEG-1) a privátní tabulky PES.

MPEG-2 TS obecně představuje spojení datových toků různých služeb obsažených v jednom kanálu.

2. Jaký vliv mají chyby dané priority 1., 2. a 3 na transportní tok MPEG-2 TS? Které chyby mají přímý vliv na dekódování TS nebo programů? Rozdělte chyby podle jejich priority?

Chyby první priority mají největší (přímý) vliv na dekódování transportního toku.

Mezi chyby první priority patří chyby (TS_Sync_loss, Sync_Byte_Error, PAT_Error, PMT_Error, PID_Error a Kontinuity_Count_Error).

Chyby druhé priority ovlivňují dekódování TS jen částečně – může dojít např. k chybné reprodukci programu. Mezi chyby první priority patří chyby (Transport_Error, CRC_Error, PCR_Error, PCR_Accuracy_Error, PTS_Error, CAT_Error).

Chyby třetí priority nemají podstatný vliv na transportní tok. Jedná se o chyby v doplňkových a servisních informacích. Tyto chyby pouze indikují chyby při vysílání DVB. Do této kategorie chyb patří chyby (NIT_Error, SDT_Error, EIT_Error, RST_Error, TDT_Error, UNREF_PID).

3. Na jakém principu je založena metoda hodnocení kvality obrazu pomocí metriky DVQL? Jakým způsobem je hodnocený obraz analyzován?

Metoda hodnocení kvality DVQL-W vychází ze subjektivní metody SSCQE. Samotný systém DVQL-W je založen na vyhodnocování informací z vektorů, které obsahují průměrné rozdíly mezi sousedními pixely bloků a makrobloků.

4. Jak byste charakterizovali prostorovou (SA) a časovou (TA) aktivitu obrazu programu digitální TV? Jaké typy obrazových snímků mají minimální a maximální prostorovou a časovou aktivitu?

Prostorová aktivita (SA) indikuje celkový obsah obrazu. Určuje množství obsažení jemných detailů v jednotlivých snímcích. Tyto detaily jsou tvořeny vyšší členitostí obrazu. Za výsledek prostorové aktivity můžeme považovat průměrný rozdíl jasových složek signálu v celém snímku mezi sousedními pixely. Maximální SA (100 %) je dosaženo u členitých obrazů osahujících velké kontrastní změny mezi sousedními pixely. Minimální SA (0 %) je dosaženo u monochromatického (jednobarevného) obrazu.

Časová aktivita (TA) indikuje změnu obrazu v po sobě jdoucích snímcích. Maximální časové aktivity (100 %) je dosaženo u dynamických scén a naopak nízké TA u statických scén (0 %).