

5.2 Prehľad súčasných bezstratových formátov

5.2.1 K metodike popisu formátov

Výber a rozdelenie formátov

Medzi testované kodeky sme zaradili Shorten (kapitola 5.2.2) z historických dôvodov, keďže ide o najstaršiu rozšírenú kompresiu tohto druhu a mnohé formáty čerpú z jeho návrhu. Nasledujú formáty, na ktorých sa pracuje, resp. v nedávnom období boli vyvíjané. Najprv sú to nekomerčné kodeky: WavPack (5.2.3), Monkey's Audio (5.2.4), FLAC (5.2.5), LA (5.2.6), TTA (5.2.7), OptimFROG (5.2.8). Potom nasledujú kodeky z priemyselnej sféry: LPAC/ALS (5.2.9), AAZ/SLS (5.2.10), MLP (5.2.11). Na dôvažok sú to proprietárne formáty ALAC (5.2.12), Real Audio 10 (5.2.13) a Windows Media Audio 9.0 (5.2.14).

Nasledujúce kodeky sme sa rozhodli nerecenzovať: WaveZIP, Kexis, RKAU, Bonk. Prvé tri formáty neboli vyvíjané viac než päť rokov, dosahujú slabé výsledky (s výnimkou RKAU, výsledkami podobné Monkey's Audio, ale s vyššou časovou náročnosťou; prístupné je len pre platformu Windows). Formát Bonk sa nedočkal rozšírenia a bol skôr projektom jednotlivca pre vlastnú potrebu. Dosahuje veľmi slabé výsledky. Ostatné formáty, ktoré neboli spomenuté v predošlých riadkoch, nedosiahli dostatočný stupeň rozšírenia, ani neprejavili dostatočnú kvalitu na to, aby sa dostali do tohto zoznamu.

Zhrnutie vlastností formátov

Pri väčšine spomenutých formátov nájdeme na konci článku o ňom takto vyzerajúcu tabuľku:

Kódovanie:	-	Hybridná stratovosť:	-
Dekódovanie:	-	Možnosť normalizácie:	-
Kompresia:	-	Podpora RIFF:	-
Rozmanitosť nastavení:	-	Vysielateľnosť:	-
Ochrana pred chybami:	-	Open Source:	-
Pretáčanie:	-	Viackanálovosť:	-
Značkovanie:	-	Vysoké rozlíšenie:	-
Hardvérová podpora:	-	Podpora platforiem:	-
Softvérová podpora:	-	Symetrický:	-
Pipelining:	-		

Informácie v tejto tabuľke pochádzajú zo stránky [HydrAudio], zo stránok autorov a z iných zdrojov.

- *Kódovanie* a *Dekódovanie* vyjadruje slovné ochodnotenie rýchlosti týchto činností zo škály *veľmi rýchle, rýchle, priemerné, pomalé*. Týka sa štandardného (*default*) nastavenia každého z kodekov.

- *Kompresia* vyjadruje približný podiel veľkostí skomprimovaného a pôvodného súboru, ktorý zvolil autor tohto porovnania zo stránok [HydrAudio]. Číslo je udané v percentách. Týka sa štandardného (*default*) nastavenia každého z kodekov.
- *Rozmanitosť nastavení* vyjadruje bohatosť nastavení stupňov kompresie zo škály *veľmi dobrá, dobrá, priemerná, zlá*.
- *Ochrana pred chybami* znamená prítomnosť kontrolných súčtov v kontajneroch používaných daným formátom.
- *Pretáčanie* znamená prítomnosť tzv. *seek tables*.
- *Značkovanie* vyjadruje podporu tzv. *tagov*. Môže byť z množiny *ID3, APE, QT, FLAC*, resp. *proprietárne*.
- *Hardvérová podpora* znamená existenciu externých zariadení na prehrávanie zvuku (discmany, veže, DVD prehrávače...) s podporou daného formátu.
- *Softvérová podpora* vyjadruje početnosť softvérových nástrojov, ktoré dokážu s daným formátom pracovať, slovne zaradená do stupnice *veľmi dobrá, dobrá, priemerná, pomalá*.
- *Pipelining* neznamena podporu vetvenia v návrhu algoritmov, ale možnosť použiť štandardný vstup a výstup (*stdin, stdout*) pri komunikácii s rozhraním kompresného / dekompresného filtra, teda možnosť zaradiť daný formát ako súčasť spracovania v dávkovom spracovaní súborov.
- *Hybridná stratovosť* znamená, že kodek umožňuje uložiť stratovú zložku kódovaného zvuku a „korekčnú zložku“, ktorá tú predošlú dopĺňa do bezstratovej kompresie, osobitne. Výhodou je vytvorenie malých súborov, ktoré možno použiť napr. v prenosných prehrávačoch, kde vzhľadom na kvalitu zariadenia a použitie stačí stratová kompresia a priorita je malá veľkosť prenášaných dát. Veľké korekčné súbory ich potom dopĺňajú. Túto vlastnosť podporujú len WavPack (5.2.3) a OptimFrog (5.2.8).
- *Možnosť normalizácie* znamená prítomnosť informácie o amplitúdou najvyššej hodnote v zázname už v hlavičke súboru. Mnohé prehrávače totiž podporujú zhlásenie skladby až po najvyššiu možnú úroveň (a na to túto informáciu potrebujú), aby tak vyrovnali hlasitosť jednotlivých prehrávaných skladieb, ktorá je premenlivá, ak tieto predtým neboli normalizované. V angličtine sa táto črta nazýva *Replay gain*.
- *Podpora RIFF* odkazuje na vnútornú štruktúru súboru používaného daným formátom.
- *Vysielateľnosť* – p. *streaming*.
- *Open Source* naráža na politiku vývoja kodeku. Táto téma presahuje určenie tejto práce.
- *Viackanálovosť* znamená podporu viac než len mono/stereo nahrávok.
- *Vysoké rozlíšenie* vyjadruje podporu najnovších stupňov rozlíšenia zvuku (vzorkovacia frekvencia 96kHz a viac, 24 bitová hĺbka a lepšie).
- *Podpora platforiem*, teda platformy, na ktorých existuje softvér na prácu s týmto kodekom. Môže byť z množiny *Win* (PC, Windows), *Linux* (PC, Linux), *Mac* (Macintosh), *Sol* (Solaris), resp. *všetky*.
- *Symetrický* je kodek vtedy, ak nastavením vyššieho stupňa kompresie stúpa nielen čas kompresie, ale proporcionálne aj čas dekompresie. Náprotivkom je asymetrický kodek, pri ktorom zvyšovaním stupňa kompresie zvyšujeme aj čas na ňu potrebný, ale dekompresia ostáva rovnako náročná (resp. mení sa len málo) ako pri nižšom stupni kompresie. Špecifikom je *WavPack*

(kapitola 5.2.3), ktorý ponúka oba druhy kompresie.

Položky, ktorých popis nebol explicitne spomenutý, sú popísané len slovami *áno*, resp. *nie*. Vlastnosti, ktoré sa pri danom formáte nepodarilo zistiť, sú označené otáznikom.

5.2.2 Shorten

Tento kodek bol vyvinutý Tonym Robinsonom z firmy SoftSound Ltd.¹ už v roku 1994 a poskytnutý verejnosti na bezplatné nekomerčné využitie. Neskôr bol rozšírený o tzv. *seek-tables* niekoľkými programátormi (Wayne Steilau, Jason Jordan) zhromaždenými v projekte etree.org², pričom ho zvolili za základný kodek na šírenie hudby na svojej stránke, čím získal veľkú popularitu. Kodek používa vlastný formát s príponou “.shn”.

Prekvapujúce je, že *Shorten* nevznikol len ako bezstratový kodek, ale jeho cieľom bolo nakoniec poskytnúť stratovú kompresiu so zvoleným odstupom signálu od šumu (chyby); primárne určenie malo byť na prenos a archiváciu hovoreného slova, ktoré bolo ďalej používané pri analýze a návrhu algoritmov na rozpoznávanie reči.

Shorten je založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6), pričom okrem pevne zvolených predikčných formúl (tamže) ponúka aj riešenie so všeobecnými koeficientmi (tamže). Stratová kompresia je založená na kvantovaní (podľa mocnín dvojky) reziduálov. *Shorten* ponúka dva módy stratovej kompresie:

- mód s približne konštantnou dátovou šírkou bloku,
- mód so zvolenou najvyššou štandardnou odchýlkou v bloku.

Pokusy ukazujú, že nie vždy zodpovedá rozdiel v štandardnej odchýlke aj odstup signálu od šumu, keďže do hry vstupuje aj korelácia zdroja – čím je autokorelácia vyššia, tým väčšie artefakty vznikajú pri kvantovaní bloku.

Výsledky, ktoré táto stratová kompresia poskytuje, sú však príliš slabé na to, aby sa tento kodek v súčasnosti mal šancu uchytiť v odvetví bezstratovej kompresie zvuku.

Posledná autorova verzia (2.3a)³ bola vydaná vo februári 1999. Najnovšia rozšírená verzia (3.6.0)⁴ uzrela svetlo sveta v auguste 2004.

Shorten neponúka vynikajúce výsledky v kompresii, ale jeho rýchlosť a podpora v rôznych prostrediach – vyplývajúca najmä z dlhého času, čo je na trhu – ho robia akýmsi štandardom na poli bezstratovej kompresie zvuku. Keďže však podporuje len základnú kompresiu zvuku (bez medzikanálovej korelácie, najviac 44,1 kHz) a nemá žiadnu pridanú hodnotu (okrem podpory hlavičiek RIFF), postupne mizne z trhu. etree.org² navyše prechádza na kvalitnejší formát

FLAC (kapitola 5.2.5), preto sa do Shortenu v súčasnosti určite neoplatí investovať. Veľmi chudobnú domovskú stránku možno nájsť na [ShortenHP], dokumentáciu na [ShortenDK].

Kódovanie:	veľmi rýchle	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	veľmi rýchle	Možnosť normalizácie:	nie
Kompresia:	63,50%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	zlá	Vysielateľnosť:	nie
Ochrana pred chybami:	nie	Open Source:	áno
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	nie
Značkovanie:	nie	Vysoké rozlíšenie:	nie
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	všetky
Softvérová podpora:	veľmi dobrá	Symetrický:	áno
Pipelining:	áno		

¹ [SoftSound]

² [etree.org]

³ Možno stiahnuť napr. na [ShortenDL1].

⁴ Možno stiahnuť napr. na [ShortenDL2].

5.2.3 WavPack

Američan David Bryant začal vyvíjať tento kodek roku 1998 s prozaickým cieľom – CD-ROM médiá mali vtedy kapacitu len 650 MB až 700 MB (t.j. asi 66 minút), keď teda chcel spraviť zálohu hudobného CD na CD-ROM, potreboval ho skomprimovať. Pre vlastnú potrebu vyvinul program, ktorý neskôr poskytol verejnosti ako freeware. WavPack stavia najmä na kvalite kompresie v kombinácii s vysokou rýchlosťou kompresie i dekompresie. Používa vlastný formát „.wv“.

WavPack je založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6). Používa adaptívny faktor predikcie (tamže). Koeficienty sú predvolené (podobne ako v prípade Shortenu, p. kapitolu 5.2.2), predikcia siaha až do ôsmeho rádu. Predikcia funguje vo viacerých prechodoch, teda namiesto kódovania reziduálu po vykonaní predikcie sa pristupuje k ďalšej, sériovo. Používajú sa dve až šestnásť predikčných vrstiev.

Zaujímavo je riešená dekorelácia stereo signálu. Namiesto predikcie priemeru a rozdielu kanálov sú ľavý aj pravý kanál, čo sa predikcie týka, komprimované nezávislo. Medzikanálová korelácia sa využíva až pri prenose chyby. Prenos chyby ľavého a pravého kanálu nahrádza osobitný prenos rozdielu medzi ich chybami a chyby ľavého, resp. pravého, resp. priemeru ich chýb, pričom sa vyberie najlepšia z týchto troch alternatív.

Druhou zvláštnosťou je prítomnosť možnosti asymetrického kódovania – náramne zvyšuje čas potrebný pre kompresiu, ale podáva dobré výsledky vo veľkosti súborov, pričom tento parameter, ktorý možno zadať navyše k ľubovoľným pôvodným parametrom, neovplyvňuje samotnú rýchlosť dekompresie. Dovtedy pevne zvolené koeficienty predikčných funkcií strácajú význam a hľadajú sa

koeficienty výhodnejšie pre kódovaný blok.

Ďalšou zaujímavosťou je výber osobitného, autorom navrhnutého kódovania čísel – ako priznáva, jeho efektívnosť je v porovnaní s Riceovými kódmi nižšia asi o 0,15 bitu na vzorku, má však dve výhody:

- Nepotrebuje adaptívne nastavovať dĺžku zápisu, preto nepotrebuje žiaden buffer. Zakódovaná vzorka môže ísť okamžite na výstup. Šetrí sa procesorový čas.
- Formát zápisu umožňuje oddeliť MSB chyby od zvyšnej časti tohto čísla, čo uľahčuje implementáciu stratovej kompresie. Priemerne sa používajú tri bity na vzorku, so znamienkom to predstavuje v priemere asi 3,65 bitu na vzorku.

Tu sa dostávame ku kľúčovej vlastnosti: Wavpack umožňuje hybridnú kompresiu, keď popri stratovom súbore „.wv“ vytvorí aj korekčný súbor „.wvc“. Používateľ zadá žiadaný bitrate, pričom jeho hodnoty sú omnoho vyššie ako v prípade pravých bezstratových kodekov (autor uvádza 192kbps ako úplné minimum, 256kbps ako štandardnú hodnotu a 320kbps ako vysoko kvalitný výstup). Nastavenia možno optimalizovať okrem maximálnej kvality stratovej časti i na minimálnu veľkosť oboch častí spolu. Aká je výhoda? Pokojne možno používať stratovo skomprimované súbory, ktoré zaberajú na disku oveľa menej než hocaká iná bezstratová kompresia, a predsa uloženie korekčných súborov na iné médium – napr. na DVD – znamená možnosť bezstratovo obnoviť pôvodný zvuk. Určite sa rátalo aj s hardvérovou podporou, o ktorej však zatiaľ nie je ani chýru.

WavPack je veľmi rýchly a efektívny kodek, ktorý môže konkurovať i tým najlepším v tejto triede (FLAC, APE). Autor je i naďalej jediným vývojárom WavPacku. Najnovšia verzia (4.1)¹ pochádza zo septembra 2004, z čoho vidno, že na ňom stále pracuje.

WavPack ponúka bezkonkurenčne rýchlu kompresiu a extrémne rýchlu dekompresiu (ktorej sa vyrovnajú len Shorten a FLAC). Vysoká efektivita kompresie napriek jednoduchému návrhu predstihuje väčšinu konkurencie. Nevýhodou je neprítomnosť hardvérovej podpory, ktorá vyplýva z nižšieho záujmu o tento kodek a z jeho symetrickosti. Celá práca je totiž na pleciah jedného človeka. WavPack sa však stále zlepšuje a vyhovuje všetkým kritériám, preto ho možno určite len odporučiť. Domovskú stránku možno nájsť na [WavPack], veľmi stručnú technickú dokumentáciu na [WavPackDK].

Kódovanie:	veľmi rýchle	Hybridná stratovosť:	áno
Dekódovanie:	veľmi rýchle	Možnosť normalizácie:	áno
Kompresia:	58,00%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	veľmi dobrá	Vysielateľnosť:	áno
Ochrana pred chybami:	áno	Open Source:	áno
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	áno
Značkovanie:	ID3, APE	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	všetky

Softvérová podpora: priemerná
Pipelining: áno

Symetrický: *aj asymetrický*

¹ [WavPack]

5.2.4 Monkey's Audio (APE)

Autorom formátu Monkey's Audio (ďalej len MA) je Američan Matthew T. Ashland. Jeho vývoj sa začal niekedy pred rokom 2000 (presný dátum sa nám nepodarilo zistiť), pričom od počiatku bol vyvíjaný ako proprietárne riešenie s možnosťou bezplatného využitia pre nekomerčné použitie. Pre MA je prioritou kvalitná kompresia, pričom časová náročnosť ostáva relatívne nízka. Používa vlastný formát „*ape*“.

MA je symetrický kodek založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6). Nezvyčajným ho robí to, že je založený na neurálnych sieťach. Navyše používa rozsahové kódovanie.

Hlavnou silou tejto kompresie, ako sme si už spomenuli, je vysoká efektivita. To je zrejme hlavný dôvod, prečo sa MA teší popularite – a zrejme ešte dlho bude. V prostredí Windows je to, čo sa výsledkov týka, zrejme to najlepšie, čo možno použiť.

Jeho hlavnou nevýhodou je však reštriktívna licencia – MA možno len používať, nie modifikovať, redistribuovať atď. Každé použitie v programoch s licenciou GPL je znemožnené, komerčne ho možno použiť iba so súhlasom autora (ku ktorému je prakticky nemožné sa dostať). Napriek nedávnomu uvoľneniu kódu chýba ozajstná príručka, vysvetlenie formátu, princípu. Z toho dôvodu je všetok vývoj na pleciach jedného človeka, čo prakticky obmedzuje vplyv MA na platformu Windows. Autor je navyše veľmi nekooperatívny, nereaguje na mejly, len veľmi zriedka navštevuje diskusné fórum na vlastnej stránke a nemieni meniť politiku licencovania. Jediný spôsob je teda pre fanúšikov tohto formátu naprogramovať si podporu z vlastných síl. Svetlom nádeje je Javovský dekóder¹, ktorý prináša MA na ďalšie platformy, jeho efektivita je však otázna.

Nevýhodou je aj neflexibilný návrh – mnohé novšie verzie v histórii MA síce boli schopné pracovať so súborami kódovanými staršími verziami, naopak to však neplatilo.

MA však preto určite nepatrí do starého železa – aj napriek chýbajúcej podpore viac než dvoch kanálov. Podpora značkovania, RIFF, robustnosť, príjemné prostredie... tento formát určite tak skoro nezmizne. A to aj napriek tomu, že sa už prakticky nevyvíja, keďže najnovšia verzia (3.99)² pochádza z apríla 2004.

MA ponúka dostatočne rýchlu kompresiu pri bezkonkurenčne malých výsledných súboroch. Robí ho to favoritom medzi súčasnými používateľmi systému Windows. Aj konzorcium MPEG ho

v svojej výzve na návrh bezstratovej kompresie z r. 2002 (p. kapitolu 5.2.9) označuje ako dovedejší vrchol vývoja (*state-of-the-art*). Zdá sa však, že boj na dlhé trate prehrá na celej čiare z dôvodu nízkej podpory mimo prostredia Windows. Navyše má pošramotenú povest' z dôvodu problémov so spätnou kompatibilitou a „nešikovnú“ licenčnú politiku. Domovskú stránku možno nájsť na [Monkey], zjednodušenú technickú dokumentáciu na [MonkeyDK].

Kódovanie:	rýchle	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	rýchle	Možnosť normalizácie:	nie
Kompresia:	55,50%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	veľmi dobrá	Vysielateľnosť:	nie
Ochrana pred chybami:	áno	Open Source:	áno, čiastočne
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	nie
Značkovanie:	ID3, APE	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	všetky (<i>Java</i>)
Softvérová podpora:	dobrá	Symetrický:	áno
Pipelining:	áno		

¹ [MonkeyJ]

² [Monkey]

5.2.5 FLAC

Formát FLAC (*Free Lossless Audio Codec*) vyvíja skupina programátorov pod vedením Američana Josha Coalsona. Kodek debutoval v decembri 2000, v júli 2001 vyšla verzia 1.0. Autor chcel svetu ponúknuť výpočtovo nenáročný a otvorený kodek, pričom staval na kvalitnom návrhu zaručujúcom spätnú kompatibilitu. Používa vlastný formát „*flac*“, aj keď sa často používa alternatívne riešenie, tzv. Ogg FLAC, teda uloženie v kontajneri s príponou „*ogg*“.

FLAC je asymetrický kodek založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6) používajúci FIR kódovanie. Prístup k medzikanálovej dekorelácii je zhodný s formátom WavPack (kapitola 5.2.3). Pri kódovaní každého z blokov sa vyberie najlepšia z týchto alternatív:

- *Doslovný prepis*, tzn. žiadne kódovanie.
- *Konštantný blok*, vtedy sa použije obyčajné RLE.
- *Fixné lineárne prediktory*, kedy sa použije jeden zo štandardných prediktorov uvedených v kapitole 3.6, resp. $P_4(i) = 4X(i-1) - 6X(i-2) + 4X(i-3) - X(i-4)$.
- *Variabilné lineárne FIR prediktory* získané vďaka Levinson-Durbinovmu algoritmu¹, a to až do rádu 32. Používa sa tiež variabilné kvantovanie koeficientov.

Dekompresia potrebuje len celočíselnú aritmetiku, čo spravilo z formátu FLAC hardvérovo najľahšie implementovateľný aj najlepšie implementovaný bezstratový kodek. Kvôli zaručeniu tejto nízkej výpočtovej náročnosti však špecifikácia nepodporuje vzorkovaciu frekvenciu nad 96 kHz, aj

keď samotný formát ju podporuje (pri kódovaní možno deaktivovať kontrolu súhlasu parametrov so špecifikáciou).

Treba povedať, že výsledky kompresie nie sú nijak úžasné. Zato rýchlosť je veľmi dobrá, podpora MD5 „odtlačkov“ (FlacFingerprint), značkovania (cez FlacMetadata – je však vnútorne úplne zhodné s *Vorbis Comments*, teda značkováním vo formáte Ogg Vorbis), široká podpora a úplná otvorenosť urobili z FLACu formát číslo jeden. Navyše mnohé skupiny (medziiným Metallica, They Might Be Giants a iné) využívajú tento formát na šírenie svojej hudby, resp. záznamov z koncertov. Z dôvodu vysokej flexibility formátu sa aj v projekte etree.org² rozhodli používať tento formát.

Na kodeku sa neustále intenzívne pracuje³, najnovšia verzia (1.1.2)⁴ je z februára 2005. Všetky zmeny však zachovávajú úplnú spätnú kompatibilitu.

FLAC ponúka rýchlu kompresiu a ešte rýchlejšiu dekompresiu, to všetko pri dostatočne dobrom pomere kompresie. Jeho široká podpora, univerzálnosť (aj keď nepodporuje RIFF), otvorenosť, používanosť i hardvérová podpora ho v súčasnosti stavajú do výslnia a urobili z neho *de facto* priemyselný štandard. Určite je a dlho ešte ostane dobrou voľbou. Domovskú stránku možno nájsť na [FLAC], zjednodušenú technickú dokumentáciu na [FLACDK].

Kódovanie:	rýchle	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	veľmi rýchle	Možnosť normalizácie:	áno
Kompresia:	58,70%	Podpora RIFF:	nie
Rozmanitosť nastavení:	veľmi dobrá	Vysielateľnosť:	áno
Ochrana pred chybami:	áno	Open Source:	áno
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	áno
Značkovanie:	FLAC	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	áno	Podpora platforiem:	všetky
Softvérová podpora:	veľmi dobrá	Symetrický:	nie
Pipelining:	áno		

¹ [LevDurb]

² [etree.org]

³ Vývoj formátu prebieha otvorene na stránkach SourceForge.net – [FLACSF].

⁴ [FLAC]

5.2.6 LA

Formát LA (*Lossless Audio*) pochádza od Michaela Bevina a prišiel na svet v auguste 2002 (verzia 0.2). Ide teda o veľmi nový kodek, ktorý navyše ešte stále nedosiahol verziu 1.0. Snahou

autora bolo vytvoriť najsilnejšiu bezstratovú kompresiu, pri ktorej nízka časová náročnosť nie je prioritou (presne naopak, ide o jasne najpomalší kodek zo všetkých popisovaných). Používa vlastný formát „la“.

LA je symetrický kodek založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6). Používa adaptívny faktor predikcie (tamže).

Veľmi zaujímavá je aplikácia viacerých (max. 8) prediktorov po sebe, sériovo, po vrstvách. To znamená, že namiesto kódovania reziduálu po prvej predikcii (prvej vrstve) sa táto hodnota dáva ako vstup druhej vrstve predikcie. Adaptívny faktor predikcie sa používa na každej vrstve. LA používa čo do rôznorodosti veľmi bohaté predikčné funkcie, dokonca aj medzikanálovú koreláciu rieši tak, že niektoré prediktory používajú predošlé vzorky z viacerých kanálov. Tento prístup, aj keď časovo veľmi náročný, umožňuje dosiahnuť neuveriteľne dobrú kompresiu.

Na kódovanie reziduálov a informácií o predikcii sa používa aritmetické kódovanie.

LA je už dlhší čas bez vývoja, najnovšia verzia (0.4b)¹ je z februára 2004.

Formát LA ponúka veľmi dobré výsledky kompresie, aj keď rýchlosť je nízka. Je však v rukách jedného nadšenca, ktorý na ňom už dlhší čas nepracuje. Domovskú stránku možno nájsť na [LA], zjednodušenú technickú dokumentáciu na [LADK].

Kódovanie:	pomalé	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	pomalé	Možnosť normalizácie:	nie
Kompresia:	53,50%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	priemerná	Vysielateľnosť:	?
Ochrana pred chybami:	?	Open Source:	nie, prístupné dll
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	nie?
Značkovanie:	?	Vysoké rozlíšenie:	nie
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	Win, Linux
Softvérová podpora:	zlá	Symetrický:	áno
Pipelining:	nie		

c.5.01 [LA]

5.2.7 TTA

Formát TTA (*True Audio*) je projektom softvérovej komunity True Audio software, zhromaždenej okolo dvoch Rusov – Alexandra V. Djourika a Pavla Žilina. Od roku 1999 pracovali

na bezstratovej kompresii za účelom zálohovania dát nasnímaných vesmírnymi rádioteleskopmi. V roku 2002 sa rozhodli použiť svoje skúsenosti a verejnosti predstavili bezstratový kodek s dobrou kompresiou i rýchlosťou, navrhnutý so zreteľom na budúcu hardvérovú podporu. Používa vlastný formát „*tta*“, aj keď je podporovaný aj v kontajneri matroska.

TTA je založený na IIR predikcii (p. kapitolu 3.6). Používa jednoduchú medzikanálovú dekoreláciu, vlastný prístup k adaptívnosti predikcie a mimoriadne dlhé bloky – až okolo jednej sekundy. To spôsobuje problém pri prehrávaní a úpravách zakódovaných zvukov. Používa Riceovo kódovanie (p. kapitolu 3.10) s adaptívnou dĺžkou.

TTA ponúka dobrú kompresiu s dobrou časovou náročnosťou, existuje dokonca jeden DVD prehrávač, ktorý ho podporuje. Ale nedostatok čít ako značkovanie (ktoré je implementované, ale súčasný softvér ho nepodporuje), vysielateľnosť a slabé rozšírenie na trhu hovoria zatiaľ proti nemu. Na druhej strane, stále podlieha vývoju, v súčasnosti sa pracuje na podpore vysielateľnosti a lepšej softvérovej podpore. Autori navyše rokujú s viacerými výrobcami hardvérových riešení (prehrávače) o podpore ich kodeku. Najnovšia verzia (3.2)¹ je zo septembra 2004.

Formát TTA ponúka dobré výsledky kompresie pri primeranej rýchlosti. Jeho vývoj je však nestály a neponúka **žiadne** nastavenia. Zdá sa, že je prípadom dobrej technológie, ktorá sa nevedela dobre predať. Aspoň zatiaľ nie. Všetko sa však môže zmeniť prípadnou podporou prehrávačov. Domovskú stránku možno nájsť na [TTA], popis algoritmu na [TTADK].

Kódovanie:	rýchle	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	rýchle	Možnosť normalizácie:	áno
Kompresia:	57,10%	Podpora RIFF:	nie
Rozmanitosť nastavení:	zlá	Vysielateľnosť:	nie
Ochrana pred chybami:	áno	Open Source:	áno
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	áno
Značkovanie:	ID3 (p. vyššie)	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	áno	Podpora platforiem:	všetky
Softvérová podpora:	dobrá	Symetrický:	N/A
Pipelining:	nie		

¹ [TTA]

5.2.8 OptimFROG

OptimFROG je projektom Rumuna Florina Ghida, ktorý ho vyvíja od roku 1996. Verejnosti však poskytol až verziu 4.0b v roku 2001. Prioritou je účinnosť kompresie s nastaviteľnou časovou náročnosťou. Používa vlastný formát „*of*“.

OptimFrog je symetrický kodek založený na lineárnej predikcii. (p. kapitolu 3.6). Používa vlastný zovšeobecnený koncept stereo dekorelácie, keď predikčná funkcia nemá svoj rád (počet použitých predošlých vzoriek na výpočet predikcie) len v rámci rovnakého kanála, ale osobitný rád má aj pre vzorky použité z druhého kanála. Podobne ako WavPack (p. kapitolu 5.2.3) ponúka OptimFROG možnosť asymetrie, keď „optimalizuje kompresiu“ bez spomalenia rýchlosti dekódovania.

Súčasťou OptimFROGu je i technológia DualStream, ktorý je vlastne hybridnou kompresiou, podobnou tej, ktorú ponúka napr. WavPack. V súčasnosti je však táto vlastnosť v štádiu vývoja.

OptimFROG ponúka excelentný kompresný pomer, no za cenu prehnanej časovej náročnosti kompresie i dekompresie. Má širokú plejádu dobrých vlastností (p. tabuľku), ale nie je Open Source, navyše nepodporuje viac než dva kanály. Z dôvodov ukončenia školy a zlého zdravotného stavu autora je už dlhší čas bez vývoja, najnovšia verzia (4.509)¹ je z apríla 2004.

Formát OptimFROG ponúka veľmi dobré výsledky kompresie, ale časová náročnosť je veľmi vysoká. Navyše, podpora a rozšírenosť nehrá v prospech tohto formátu. Je tu však možnosť jeho zlepšovania (ktoré je len na pleciach autora, keďže zdrojový kód je neprístupný), možno ho teda čaká dobrá budúcnosť. Už teraz má veľa dobrých vlastností a s rastúcou rýchlosťou počítačov bude časová náročnosť stále menej dôležitá. Domovskú stránku možno nájsť na [OptimFrog].

Kódovanie:	pomalé	Hybridná stratovosť:	áno
Dekódovanie:	pomalé	Možnosť normalizácie:	nie
Kompresia:	54,70%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	veľmi dobrá	Vysielateľnosť:	áno
Ochrana pred chybami:	áno	Open Source:	nie
Pretáčanie:	áno	Viackanálovosť:	nie
Značkovanie:	ID3, APE	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	Win, Linux
Softvérová podpora:	priemerná	Symetrický:	<i>aj asymetrický</i>
Pipelining:	?		

¹ [OptimFrog]

5.2.9 LPAC/ALS

LPAC (Lossless Predictive Audio Compression) vznikol ako projekt Tilmana Liebchena z Berlínskej Technickej univerzity¹. Išlo o jednoduchý a výpočtovo nenáročný algoritmus využívajúci lineárnu predikciu, s podporou pre viaceré platformy². Keďže neponúkal výnimočné výsledky,

nikdy sa skutočne neujal. Autor však zachytil výzvu konzorcia MPEG z júla 2002 na odoslanie návrhu čisto bezstratovej kompresie. Spolu sedem firiem a inštitúcií poslalo svoj návrh, pričom konzorcium nakoniec zvolilo algoritmus LPAC ako referenčný model. Výhodu hralo akademické pozadie, výpočtová nenáročnosť (s dôrazom na veľmi ľahkú hardvérovú implementovateľnosť) a spomedzi konkurencie najlepšie výsledky kompresie. (Treba však zdôrazniť, že neboli porovnateľné s výsledkami nekomerčných algoritmov ako FLAC alebo Monkey's Audio.)

Zo spomenutých dôvodov sa algoritmu LPAC ďalej nebudeme venovať, keďže výskum spôsobil jeho prerod v nový štandard – ALS.

ALS (Audio Lossless Coding) je štandardom vyvíjaným konzorciom MPEG, v súčasnosti (začiatok roka 2005) je vývoj vo finálnom štádiu. Ide o symetrický kodek založený na lineárnej predikcii (p. kapitolu 3.6). Komplexnosť dekódera je však malá, preto časová náročnosť závisí len od zvoleného rádu predikcie. K jeho črtám po dokončení musia podľa špecifikácie patriť tieto vlastnosti:

- Podpora ľubovoľného digitálneho nekomprimovaného vstupu do rozlíšenia 32 bitov, resp. 32 bitov s pohyblivou desatinnou čiarkou, pri ľubovoľnej vzorkovacej frekvencii (do 192 kHz).
- Podpora viackanálového a viacstopového zápisu (až do 256 kanálov s umožnením štandardu 5+1).
- Rýchly náhodný prístup do komprimovaného toku dát.
- Možnosť uloženia v kontajneri MP4.
- Vysoká flexibilita.

Do tohto času nie je celkom prístupná špecifikácia tohto algoritmu, možno však spomenúť niektoré jeho známe vlastnosti³:

- ALS využíva postupné zvyšovanie rádu predikci (p. kapitolu 3.6) po každom začiatku bloku s možnosťou náhodného prístupu (tzn. je nezávislý od hodnôt v predošlých blokoch). Prvú vzorku (nepredikovateľnú) nekóduje, na druhú a tretiu používa osobitnú tabuľku Riceovho kódovania (p. kapitolu 3.10). Na ostatné vzorky do hodnoty rádu predikcie (ktorý je v rôznych blokoch rôzny, najviac 32) použije rovnakú tabuľku ako v prípade ostatných reziduálov.
- Pri kompresii zvuku vo formáte IEEE-32 sa použije tento postup: Reálne číslo sa zaokrúhli na celé, napr. 16-bitové číslo, na ktoré sa aplikujú všetky štandardné postupy predikcie. Reziduál je však reálny, tzn. prenáša sa aj exponenciálna zložka.
- Kanály sa predikujú nezávislo, alebo sa použije jeden z nich spolu s ich diferenciou, podľa toho, ktorá možnosť je výhodnejšia. Kódovanie exponentov prediktívnej funkcie a reziduálov však tiež využíva koreláciu kanálov, tzn. pre združený kanál sa prenáša len diferenciacia týchto hodnôt od referenčného kanála.
- Namiesto prenosu kvantovaných hodnôt koeficientov predikčnej funkcie sa používa prenos parcorových údajov. Na tie sa najprv aplikuje funkcia arkus sínus – kvôli rozšíreniu rozsahu čísel blízko jednotky – až potom nasleduje kvantovanie do podoby osembitových čísel.
- Veľkosť rámca je síce konštantný pre celý vstupný súbor, tento rámec však môže pozostávať z jedného alebo štyroch rovnako veľkých blokov s osobitnou kódovou tabuľkou.

- Popri Riceových kódach možno použiť aj kódovanie založené na BGMC (*Block Gilbert-Moore Codes*)⁴, ktoré navrhli vývojári z dielni Real Networks. V tomto prípade sa kódované hodnoty rozdelia na štatisticky zriedkavé a tie častejšie sa vyskytujúce. Prvé sú kódované Riceovým kódovaním, druhé sú rozdelené najprv na LSB, ktoré sa prenáša priamo, a MSB, ktoré sú prenášané upraveným aritmetickým kódovaním. Toto kódovanie je však výpočtovo náročnejšie a zvyšuje komplexnosť dekóderov.
- Účinnosť kompresie je veľmi dobrá; vo všeobecnosti dosahuje ALS trochu horšie výsledky než Monkey's Audio (a omnoho lepšie než FLAC) v prípade nižších vzorkovacích frekvencií, v prípade vyšších sú výsledky trochu lepšie. Výpočtová zložitosť pri kódovaní je trochu vyššia (omnoho vyššia oproti Monkey's Audio, no podstatne nižšia oproti FLAC⁵), ale pri dekódovaní je omnoho šetrnejší (aj keď FLAC ostáva v tejto disciplíne víťazom⁵).

V súčasnosti ešte nie je verejnosti k dispozícii funkčný ALS kóder.

Formát ALS bude znamenať štandard v bezstratovej kompresii zvuku, o tom niet pochýb. Široký tím profesionálov, ktorý za ním stojí, aj priemyselné konzorciá – všetci iste uvítajú otvorený formát z dielni MPEG. Predpokladáme, že od uvedenia do praxe do rozšírenia podpory v prenosných a stolových zariadeniach ubehne len krátky čas. ALS tak skôr či neskôr vytlačí v akceptovanosti trhom doterajšieho lídra, FLAC. Aktuálny stav vývoja zachytáva dokument [ALSakt].

Keďže ešte neexistuje referenčný ALS kóder, poskytujeme len výsledky staršieho formátu LPAC (ktorý nestaval na optimálnosti, ale na kvalite návrhu):

Kódovanie:	priemerné	Hybridná stratovosť:	nie
Dekódovanie:	rýchle	Možnosť normalizácie:	nie
Kompresia:	57,20%	Podpora RIFF:	áno
Rozmanitosť nastavení:	zlá	Vysielateľnosť:	nie
Ochrana pred chybami:	nie	Open Source:	nie
Pretáčanie:	áno, pomalé	Viackanálovosť:	nie
Značkovanie:	nie	Vysoké rozlíšenie:	áno
Hardvérová podpora:	nie	Podpora platforiem:	Win, Linux, Sol
Softvérová podpora:	priemerná	Symetrický:	nie
Pipelining:	?		

¹ [Liebchen]

² [LPAC]

³ [LPAC1]

⁴ [ALSBGMC]

⁵ [ALScomp]

C.9. AAZ/SLS

AAZ (Advanced Audio Zip) vznikol ako projekt dvoch mladých singapurských výskumníkov z Institute of Infocomm Research (súčasť Agency for Science Technology and Research – A*STAR). Ich mená sú Rongshan Yu a Susanto Rahardja. Za svoj návrh získali v roku 2003 zlatú medailu v Tan Kah-Keeho cene pre mladých výskumníkov. V októbri 2002 konzorcium MPEG uverejnilo výzvu na návrh algoritmu umožňujúceho hybridnú stratovú kompresiu s vlastnosťou škálovateľnosti prenosovej šírky až do dosiahnutia bezstratovej kompresie. Spomínaní autori sa prihlásili a v konkurencii bol ich návrh zvolený za referenčný model nového štandardu SLS (Scalable lossless coding, resp. Scalable to lossless coding).

AAZ je založený na Transformačnom kódovaní (p. kapitolu 3.7), pričom ako transformačnú funkciu používa AAC. To ho robí kompatibilným so súčasnými normami MPEG-4. Základný tok (*stream*) tvorí zvuk zakódovaný algoritmom AAC, pričom zložka redukujúca jeho stratovosť je len „pribalená“ použitím technológie fine-granular-scalability (FGS), ktorá umožňuje dynamicky meniť dátový tok po jednotkách menších než 0,4 kbps. Na dosiahnutie tejto vlastnosti používa AAZ tzv. bitový Golombov kód (bit-plane Golomb code, BPGC)

Treba uviesť, že požiadavky kladené na FGS sú pre súčasnú informatickú vedu vysoké. Napriek rokom výskumu v tejto problematike sa nepodarilo nájsť dostatočne efektívne kódovanie, tie súčasné sa vyznačujú vysokou komplexnosťou a nízkou efektívnosťou, keď navrhované FGS kódovania dosahujú zvýšenie výslednej dĺžky výstupu v priemere o 20-30% oproti neškálovateľným riešeniam. Podľa [SLS] však napriek týmto problémom šikovnou implementáciou BPGC dosahuje AAZ vynikajúce výsledky v stratovej (vďaka AAC) i bezstratovej kompresii, kde má predčiť aj mnohé súčasné neškálovateľné bezstratové algoritmy.

SLS poskytne nástroj na poskytovanie služieb na internete budúcnosti, spĺňajúc paradigmu univerzálneho prístupu k multimédiám (*Universal Multimedia Access – UMA*), ktorá má byť normou pre budúce štandardy MPEG-7 a MPEG-21. Znamená to jedno: ponúknuť ľubovoľné multimediálne dáta komukoľvek a kdekoľvek na distribuovanej úrovni. Je zrejmé, že stratové kompresie sú tu výsostne neúčinné (nutnosť prítomnosti viacerých verzií materiálu pre rôzne šírky pásma), etablované bezstratové formáty však neumožňujú škálovateľnosť medzi stratovosťou a bezstratovosťou v reálnom čase.

V súčasnosti ešte nie je verejnosti k dispozícii funkčný ALS kóder.

C.10. MLP

MLP (Meridian Lossless Packaging) vzišlo z dielne spoločnosti Meridian Audio¹, ktorá vyše

20 rokov vyrába spotrebiteľskú elektroniku vo sfére spracovania zvuku. Tento algoritmus sa používa v štandarde DVD-A (DVD Audio) pri ukladaní bezstratového záznamu zvuku. Treba povedať, že vzniklo práve kvôli nemu - pri jeho návrhu totiž prišli vývojári skoro k poznatku, že uloženie šesťkanálovej nahrávky v plnom rozlíšení bez kompresie (96 kHz, 24 bitov) prekračuje prenosovú rýchlosť média asi o 50% a znižuje jeho kapacitu pod hodinu. MLP prišlo vhod.

MLP používa tri proprietárne technológie: *lossless processing and lossless matrixing*, kedy sa najprv na zvukovom zázname vykoná bezstratová maticová transformácia za účelom odstránenia medzikanálovej korelácie. Nasleduje *lossless waveform prediction*, ktorá je založená na princípe IIR. Predikčné funkcie môžu byť pre jednotlivé kanály rôzne. Na konci procesu stojí upravené Huffmanovo kódovanie. Prioritou pri vývoji MLP bol špičkový dátový tok, ktorý nesmel prekročiť požadovanú hodnotu, samotná úspešnosť kompresie bola až na druhom mieste. Z toho dôvodu používa MLP aj vlastný návrh práce s vyrovnávacou pamäťou, bez ktorej by bola táto úloha priťažká.

MLP podporuje najviac 63 kanálov, vzorkovacie frekvencie od 32 kHz do 192 kHz (musí byť rovnaká pre všetky kanály, resp. jedna skupina kanálov môže mať vzorkovaciu frekvenciu dvakrát vyššiu než druhá skupina) a rozlíšenie kanálov 16, 20 a 24 bitov (ľubovoľne pre každý kanál). Navyše umožňuje v dátovom toku zaznamenať prídavné informácie o kanáli, napr. jeho pôvod (mono, stereo zdroj, hierarchické triedenie kanálov, vlastník záznamu, ...).

Zaujímavosťou je možnosť zvoliť pri kódovaní postup, ktorý sa použije pri zmenšovaní počtu kanálov na stereo. Nie každý má totiž možnosť prehrávať šesťkanálový zvuk. Jednou možnosťou je uloženie osobitnej nahrávky identickej s viackanálovým zvukovým záznamom, ktorá bola „prepočítaná“ na stereo. Ďalšou je práve spomenutá voľba tohto postupu pri kódovaní. Vtedy MLP zvolí také transformačné matice, ktoré mu už pri dekódovaní tohto záznamu umožnia dekódovať priamo stereo signál, pričom ďalšie pseudostopy (ich oddelenie nastáva ešte pred transformáciou) poslúžia ako prídavná informácia na vytvorenie šesťkanálového zvuku.

MLP sa etablovalo na trhu v priebehu roka 1998, aj keď jeho rozšírenosť je nízka. Prvé domáce prehrávače na DVD-Audio sa totiž dostali na trh na sklonku roka 2000. Výroba takýchto zvukových záznamov je omnoho nákladnejšia než výroba zvukových CD pre bežných fanúšikov. Vysoké licenčné poplatky hrajú tiež dôležitú rolu. Vzhľadom na vysoké rozlíšenie nahrávok (zväčša 96 kHz) však MLP dosahuje kompresné pomery okolo 1:2, čo je úctyhodné. Keďže ide o technológiu so špecifickým využitím, nemožno hovoriť o nejakom konkurenčnom prostredí, teda ho nemožno ani priamo porovnávať s inými technológiami. Bližší technický popis možno nájsť na [MLPDK].

Referencie

- [ALSakt] <http://www.nue.tu-berlin.de/forschung/projekte/lossless/mpegdocs.html>, na vstup je však potrebné heslo člena konzorcia MPEG.
- [ALScomp] T. Liebchen, Y. Reznik: MPEG-4 ALS: An Emerging Standard for Lossless Audio Coding. IEEE Data Compression Conference, Snowbird, USA, March 2004. (<http://www.nue.tu-berlin.de/Publikationen/papers/DCC2004LiebchenReznik.pdf>)
- [ALSBGMC] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M9893, Y. Reznik, "Proposed Core Experiment for Improving Coding of Prediction Residual in MPEG-4 Lossless Audio RM0," 65th MPEG Meeting, Trondheim, Norway, July 2003. (http://www.nue.tu-berlin.de/Publikationen/papers/0301012_ICASSP2004_Liebchen.pdf)
- [etree.org] Stránka <http://www.etree.org> vznikla v roku 1998 ako iniciatíva hudobných fanúšikov, ktorí túžili legálne distribuovať nahrávky z koncertov svojich obľúbených skupín (s ich povolením), pričom stratová kompresia bola pre nich neprijateľná.
- [FLAC] <http://flac.sourceforge.net>
- [FLACDK] <http://flac.sourceforge.net/format.html>
- [FLACSF] <http://sourceforge.net/projects/flac>
- [HydrAudio] <http://www.hydrogenaudio.org>
- [LA] <http://www.lossless-audio.com>
- [LADK] <http://www.lossless-audio.com/theory.htm>
- [LevDurb] Napr. <http://noel.feld.cvut.cz/~pollak/m/links/levdurb.m> a inde.
- [Liebchen] <http://www.nue.tu-berlin.de/wer/liebchen>
- [LPAC] <http://www.nue.tu-berlin.de/wer/liebchen/lpac.html>
- [LPAC1] T. Liebchen, Y. Reznik, T. Moriya, D. Yang: MPEG-4 Audio Lossless Coding. 116th AES Convention, Berlin, May 2004. (<http://www.nue.tu-berlin.de/Publikationen/papers/mpeg4als116.pdf>)
- [MLP] <http://www.meridian-audio.com>
- [MLPDK] http://www.meridian-audio.com/w_paper/mlp_jap_new.PDF
- [Monkey] <http://www.monkeysaudio.com>
- [MonkeyDK] <http://www.monkeysaudio.com/theory.html>
- [MonkeyJ] <http://jmac.sourceforge.net>
- [OptimFrog] <http://losslessaudiocompression.com>
- [ShortenDK] <http://svr-www.eng.cam.ac.uk/reports/ajr/TR156>
- [ShortenDL1] <http://www.softsound.com/wsh23b32.EXE>
- [ShortenDL2] <http://www.etree.org/shnutils/shorten>
- [ShortenHP] <http://www.softsound.com/Shorten.html>
- [SLS] http://www.itsc.org.sg/synthesis/2004/3_AAZ.pdf
- [SoftSound] <http://www.softsound.com>
- [TTA] <http://www.true-audio.com>
- [TTADK] <http://www.true-audio.com/codec.theory>

[WavPack] <http://www.wavpack.com>

[WavPackDK] <http://www.wavpack.com/397/technical.htm>