



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی

گروه برق

گرایش: مخابرات

عنوان:

کدینگ همزمان (توام) منبع و کانال

استاد راهنما: دکتر محمد مصطفوی

نگارنده: حسین رضاسلطانی

سال ۹۱

فهرست

فهرست ۳

فصل ۱ : معرفی ۶

فصل ۲: نگاهی کلی بر کدینگ همزمان منبع و کانال ۸

۲,۱ مدل سیستم ۸

۲,۱,۱ کانال ۹

۲,۱,۲ اینکدر ۱۰

۲,۱,۳ دیکدر ۱۰

۲,۲ اعوجاج سیستم ۱۱

۲,۳ دیکدر بهینه برای اینکدر داده شده ۱۳

۲,۴ اینکدر بهینه ۱۴

۲,۵ موارد خاص ۱۵

۲,۵,۱ ملاحظات ابتدایی ۱۵

۲,۵,۲ منبع گوسی و کانال گوسی ۱۶

۲,۵,۲,۱ مثال سیستم ۱۶

۲,۵,۲,۲ مقایسه با نتایج تئوری اطلاعات ۱۸

۲,۵,۳ کانال با ورودی باینری: کوانیزاسیون حاملی (برداری) کانال بهینه ۲۰

۲,۵,۳,۱ کانال متقارن باینری (BSC) ۲۴

۲,۵,۳,۲ کانال با ورودی باینری و خروجی حقیقی ۲۵

۲,۵,۳,۳ آموزش کدبوک ۲۶

۲,۵,۳,۴ یک سری نتایج شبیه سازی برای COVQ ۲۹

۲,۶ تقریب های عملی به کدینگ منبع-کانال ۳۱

۲,۶,۱ سیستم هایی برای انتقال چند رسانه ای ۳۱

۲,۶,۲ جدایی کدینگ منبع و کانال ۳۲

۲,۶,۲,۱ کدهای کانال نرخ خطای بیت غیر صفر دارند ۳۴

۲,۶,۲,۲ بیت های خروجی اینکدر منبع همراه بیت های اضافی ۳۶

۲,۶,۲,۳ مهم است که کدام بیت خطا دارد ۳۸

۲,۶,۳ تقریب هایی به دیکدینگ همزمان منبع و کانال ۳۹

۲,۶,۳,۱ محافظت خطای نامتعادل و پنهان سازی خطا ۳۹

۲,۶,۳,۲ دیکدینگ کانال منبع کنترل شده ۴۰

۲,۶,۳,۳ دیکدینگ منبع تخمین پایه ۴۱

۲,۶,۳,۴ دیکدینگ منبع-کانال تکرارشونده ۴۲

۲,۶,۴ راه هایی به اینکدینگ همزمان منبع و کانال ۴۳

فصل ۳: دیکدینگ همزمان منبع و کانال ۴۴

۳,۱ معرفی و مدل سیستم ۴۴

۳,۲ دیکدینگ همزمان منبع-کانال تقریباً بهینه ۴۷

۳,۲,۱ تخصیص و تعمیم ۵۳

۳,۳ دیکدینگ منبع-کانال تکرارشونده (ISCD) ۵۵

۳,۳,۱ سرچشمه و اشتقاق ۵۵

۲,۳,۲ اجرای موثر ISCD به وسیله مقادیر L ۵۸

۳,۳,۳ نتایج شبیه سازی برای ISCD ۶۱

۳,۴ نگاشت بیت کوانتیزه کننده ISCD ۶۵

۳,۴,۱ ملاحظه ابتدایی ۶۶

۳,۴,۲ بهینه سازی به وسیله سوئیچینگ باینری ۶۹

۳,۴,۳ نتایج شبیه سازی با نگاشت بیت بهینه شده ۷۲

۳,۵ جمع بندی ۷۷

مراجع ۷۹

فصل ۱: معرفی

سیستم های عملی همواره به خاطر تاخیر بین سیگنال نمونه ورودی و خروجی آن سیگنال در گیرنده، محدودیت داشته اند. تاخیر مجاز به وسیله پیچیدگی و نوع کاربرد تعیین می شود. برای مثال می توانیم انتقال صدا در سیستم های موبایل GSM را بررسی کنیم. سیگنال صدا دارای محدوده باند کمتر از 4KH است و توسط سیگنالی با دوره تناوب $T_A = 125 \mu s$ (فرکانس نمونه برداری $f_A = 8 \text{ kHz}$) نمونه برداری می شود. تاخیر در چنین سیستم هایی زمانی حساس می شود که کیفیت مکالمه بین اشخاص را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین دوره تناوب نمونه برداری را می توان تا 20ms افزایش داد، یعنی ماکزیمم تعداد نمونه هایی که می توانند تواما پردازش شوند $N = 20\text{ms}/125\mu s = 160$ است.

در استفاده های غیر مکالمه ای مثل انتشار ویدئو محدودیت های تاخیر بسیار کمتر است اما هنوز N ممکن است بیشتر محدود باشد و این مورد بیشتر به خاطر محدودیت های حافظه است تا نیاز های مورد کاربرد.

برای N بزرگ، تئوری اطلاعات به طور ضمنی راهی را برای چگونگی طراحی سیستم اتباطی پیشنهاد می کند. این راه معمولا "اصل جدایی" نامیده می شود. تقریبا بیان می کند که برای بلوک های N بی نهایت بزرگ، انتقال دهنده ها می توانند به دو کدینگ منبع و کدینگ کانال بدون کاهش در عملکرد - جدا شوند. اینکدر منبع دنباله ای از بیت های مستقل و با توزیع یکنواخت (با نرخ بیتی که معادل ظرفیت

کانال است) تولید می کند و کد کانال از بیت ها در مقابل نویز کانال محافظت می کند. تصحیح خطا (در تئوری) به صورت کامل ممکن است به شرطی که نرخ بیت کد کانال (تعداد بیت های دیتا تقسیم بر تعداد بیت های کد کانال) بزرگتر از ظرفیت کانال نباشد. به غیر از بیت های دیتا، هیچ ارتباط اضافی ای بین اینکدرهای منبع و کانال نیاز نیست و هر دو جز به صورت کامل کار می کنند. بنابراین، طراحی سیستم ارتباطی خیلی آسان شد، برای مثال طراحی کد کانال اصلا تحت تاثیر نوع داده در ورودی اینکدر منبع

نیست.

با اختراع توربو کدها و پیشرفت های به وجود آمده بر پایه آن بعضی از وعده های تئوری اطلاعات کمتر یا بیشتر عملی شدند. برای سیستم ها با طول بلوک بلند، توربو کدها قادر هستند که نرخ خطای بیت اضافی بعد دیکدینگ کانال را تا 10^{-5} یا کمتر کاهش دهند، در یک کانال با کیفیت آن نزدیک به محدودیت های نظری برای انتقال بدون خطاست.

اگر، به هر حال طول های بلوک متوسط یا حتی کوتاه هستند (برای مثال در موبایل) هر دو بهترین شمایلی شناخته شده کدینگ منبع و کانال اغلب به صورت کامل کار نمی کنند. بنابراین، اگر ناکامل بودن هر جز سیستم به وسیله دیگر اجزا جبران شود منافع بالقوه زیادی در کیفیت انتقال وجود دارد و به خاطر این است که ما از کدینگ توام منبع-کانال استفاده می کنیم.

در فصل ۲ ما نگاه کلی ای بر کدینگ توام منبع-کانال خواهیم داشت و بعضی از روش ها را علی الخصوص در قسمت دیکدر خلاصه خواهیم کرد. در فصل ۳ ما نظریه (تقریباً) بهینه دیکدینگ توام منبع-کانال و تقریبی که دیکدینگ منبع-کانال تکرار شونده نامیده می شود را بیان خواهیم کرد. ما نشان می دهیم که در اصل، ممکن است که بتوان گیرنده بهینه برای هر انتقال دهنده داده شده پیدا کرد؛ مساله اصلی در دیکدینگ توام کاهش پیچیدگی است. در مقابل آن، راه حل کلی پیدا کردن بهترین انتقال دهنده برای منبع و کانال داده شده با محدودیت تاخیر معلوم نا مشخص است. برای طراحی دیکدر پیدا کردن بهترین انتقال دهنده حیاتی است چون حتی یک گیرنده کامل برای انتقال دهنده بد انتخاب شده به یک عملکرد بد کلی در سیستم منتج خواهد شد. تا زمانی که بدست آوردن راه حل کلی سخت است ما با یک سری موارد خاص کار خواهیم کرد که با آن محدودیت های عملی اضافی، طراحی های انتقال دهنده خوب می تواند بدست آید.

فصل ۲: نگاهی کلی بر کدینگ همزمان منبع و کانال

۲,۱ مدل سیستم

مدل پایه سیستم مخابراتی را که در شکل ۲,۱ نشان داده شده است در نظر می گیریم. هدف این است

که سیگنال منبع ورودی که یک حامل



شکل ۲,۱

x ، N بعدی است (N نمونه متوالی از یک سیگنال صحبت) را به وسیله K کانال که تا مقصد کشیده

شده انتقال دهیم. مقصد جایی است که ما می خواهیم سیگنال \tilde{x} بازتولید شده را بالاترین کیفیت

بدست بیاوریم، حداکثر طول بلوک (N) بوسیله تاخیر محدود می شود. مولفه های حامل منبع که l

$l = 0, 1, \dots, N-1$ هستند دامنه پیوسته دارند و میانگین مربعات خطا

$$d(x, \tilde{x}) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} (x_l - \tilde{x}_l)^2 \quad (2,1)$$

به عنوان یک شاخص کیفیت برای بازتولید ما محسوب می شود. در آنچه که در ادامه می آید ما فرض

خواهیم کرد که بعد حامل، N و تعداد کانال های استفاده شده، K ثابت و مشخص هستند. هدف ما این

است که یک جفت اینکدر-دیکدر قطعی پیدا کنیم که امید ریاضی اعوجاج سیستم را به حداقل برساند

$$D = E_{x, \tilde{z}} \{d(X, \tilde{X} = (\tilde{Z}))\} \quad (2,2)$$

جایی که ضروری باشد ما از حروف بزرگ برای تمیز دادن بین متغیرهای تصادفی و مفاهیمشان استفاده می کنیم اما بعد از آن حروف کوچک را ترجیح می دهیم. تابع چگالی احتمال حامل ورودی (PDF) معلوم فرض می شود و برای سادگی در این بحث ابتدایی فرض می کنیم که حاملهای منبعی که کنار هم هستند مستقل از هم هستند. برای راحتی ما از $p(x)$ به جای $p_X(x)$ استفاده می کنیم البته تا جایی که این نشانه گذاری یکتا باشد. اگر نشانه های متغیرهای تصادفی دارای چند معنی باشند دوباره تعریف خواهند شد.

۲,۱,۱ کانال

انتقال در کانال زمان گسسته ای انجام شده است که K بار برای انتقال حامل منبع N مولفه ای استفاده شده است؛ بنابراین، سیگنال ورودی کانال در مدل ما حامل Z ، K بعدی است. جایی که ضروری باشد، برای مثال، فرض می کنیم که یک ورودی کانال K بیت و یک خروجی پیوسته K بعدی از یک کانال که نویز سفید گوسی دارد، داریم. مدل ما- همانطور که در شکل ۲,۲ بیان شده- به کانال های با ورودی باینری محدود نیست، بلکه مدل می تواند طوری گسترش پیدا کند که با یک کانال، یک حامل با ۲ مولفه منتقل شود. یعنی کانال در K باری که استفاده می شود ۲ بعد واقعی دارد. این موضوع به خاطر این مهم است که مدولاسیون هایی مثل M-PSK و QAM (که استفاده مکرر دارند) در تبادل های باند پایه ای استفاده می شوند که در آنها به سیگنال ها به عنوان ۲ بعدی واقعی و یا مختلط توجه می

شود.

ما فرض خواهیم کرد که نویز در کانال بدون حافظه ثابت و مستقل از بقیه سیگنال ها و مولفه های کانال است. تابع چگالی احتمال شرطی $p(\tilde{z} | z)$ که چگالی احتمال حامل خروجی \tilde{z} ، را به ازای ورودی z بیان می کند، معلوم فرض شده است. تا زمانی که کانال بدون حافظه فرض می شود PDF می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$p(\tilde{z} | z) = \prod_{l=0}^{K-1} p(\tilde{z}_l | z_l) \quad (2,3)$$

معمولا توان ورودی کانال وقتی که ورودی پیوسته است، باید محدود شود. برای یک لحظه، توان ورودی

کانال که میانگین تمام حاملها $z = \varepsilon(x)$ ، است باید به P محدود شود یعنی:

$$\frac{1}{K} E_x \{ \| Z \|^2 \} \leq P \quad (2,4)$$

چنین ایجاد محدودیت در توانی کاملا ضعیف است، به خاطر اینکه بیشینه توان کانال را محدود نمی کند.

در روش های دیگر میانگین توان برای هر حامل ورودی کانال باید محدود شود. یعنی $\frac{1}{K} \| Z \|^2 \leq P$ یا

محدودیت توان به هریک از K کانال اعمال شود، یعنی $\| Z \|^2 \leq P$.

۲,۱,۲ اینکدر

اینکدری که با نگاشت قطعی بی همتا شرح داده شده ($z \in Z$ و $x \in X = R^N$)

$$z = \varepsilon(x) \quad (2,5)$$

وسیله ای است که، حامل X سیگنال منبع ورودی را به ورودی کانال، Z نگاشت می کند. خروجی

اینکدر، Z ممکن است مجبور باشد محدودیت اعمالی توسط کانال را بپذیرد. (مثلا محدودیت توانی که در

بالا شرح داده شد)

۲,۱,۳ دیکدر

دیکدر ابزاری قطعی است که خروجی \tilde{z} کانال را به خروجی دیکدر نگاشت می کند، که باید تخمین

خوبی از آنچه که انتقال یافته باشد. نگاشت دیکدر به وسیله زیر تعریف شده ($\tilde{x} \in \tilde{X}$ و $x \in X = R^N$)

$$\tilde{x} = \rho(\tilde{z}) \quad (2,6)$$

تا زمانی که ما خواهان بازتولید خوب \tilde{x} از حامل x باشیم در مینیمم میانگین مربعات خطا، خروجی اینکدر یا برابر است با ورودی اینکدر و یا زیر مجموعه ای از آن است. تابع \tilde{z} خروجی کانال به هر حال می تواند متفاوت از ورودی z کانال باشد؛ برای مثال می توان AWGN با ورودی باینری را فرض کرد.

مسئله طراحی اینکدر/دیکدر با شکل ۲,۲ شرح داده شده که در آن ورودی و خروجی حقیقی و $N=3$

نمونه های منبع است که با کانال $K=2$ انتقال پیدا کرده اند.

۲,۲ اعوجاج سیستم

امید ریاضی اعوجاج سیستم را به صورت زیر تعریف می کنیم:

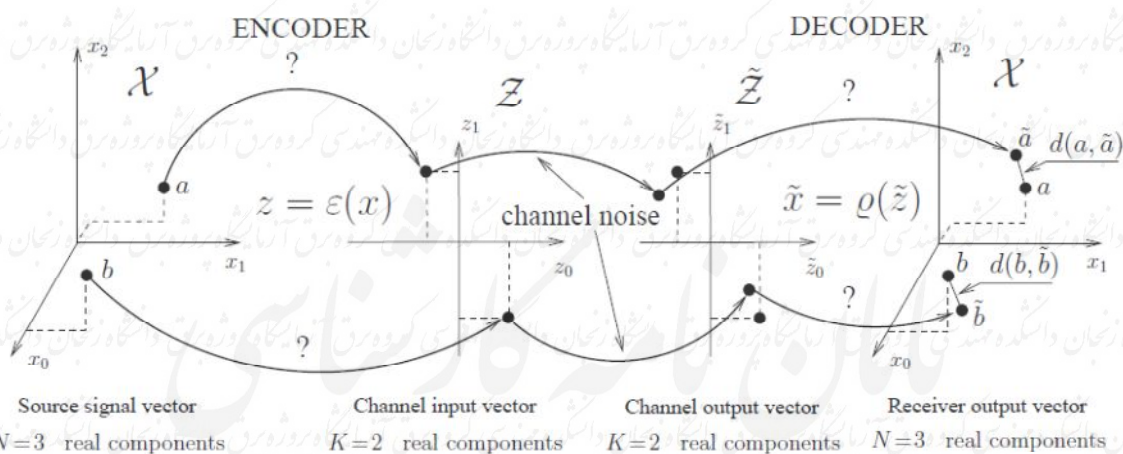
$$D(\varepsilon, \rho) \doteq E_{X, \tilde{z}} \{d(X, \tilde{X})\} = \int \int_{\tilde{z}} d(x, \tilde{x} = \rho(\tilde{z})) \cdot p(\tilde{z}, x) dx d\tilde{z} \quad (2,7)$$

که $p(\tilde{z}, x)$ نشان دهنده تابع چگالی احتمال همزمان متغیرهای تصادفی \tilde{Z} (خروجی کانال) و X (ورودی اینکدر) است. مشخصاً، هر دو نگاشت ε اینکدر و ρ دیکدر برای محاسبه مورد نیاز هستند (۲,۷). در آنچه در ادامه می آید، هدف ما این هست که هر دو نگاشت را آنچنان تعیین کنیم که

امید ریاضی اعوجاج D مینیمم شود. برای این قضیه، نمایش جایگزین زیر برای D مفید خواهد بود:

$$p(\tilde{z}, x) = p(x | \tilde{z}) \cdot p(\tilde{z}) \quad (2,8)$$

با جایگذاری ۲,۸ در ۲,۷ بدست می آوریم



شکل ۲،۲ توضیح مساله اینکدرادیکدر برای $N=3$ و $K=2$

$$D(\varepsilon, \rho) = \int_{\mathcal{X}} D_E(x, \varepsilon, \rho) \cdot p(x) dx \quad (2,9)$$

$$D_E(x, \varepsilon, \rho) \doteq E_{\tilde{z}|x} \{d(x, \tilde{X})|x\} = \int_{\tilde{\mathcal{Z}}} d(x, \rho(\tilde{z})) \cdot \underbrace{p(\tilde{z} | z = \varepsilon(x))}_{\text{cond. channel PDF}} d\tilde{z} \quad (2,10)$$

کمیتی که در ۲،۱۰ تعریف شد امید ریاضی شرطی اعوجاج است، که خروجی ویژه \tilde{z} کانال را می دهد.

به طور مشابه بدست می آوریم:

$$D(\varepsilon, \rho) = \int_{\mathcal{X}} D_E(x, \varepsilon, \rho) \cdot p(x) dx \quad (2,11)$$

$$D_E(x, \varepsilon, \rho) \doteq E_{\tilde{z}|x} \{d(x, \tilde{X})|x\} = \int_{\tilde{\mathcal{Z}}} d(x, \rho(\tilde{z})) \cdot \underbrace{p(\tilde{z} | z = \varepsilon(x))}_{\text{cond. channel PDF}} d\tilde{z} \quad (2,12)$$

که $p(\tilde{z} | x) = p(\tilde{z} | z = \varepsilon(x))$ استفاده می شود که درست است، زیرا مولفه ها در سیستم شکل

۲،۱ یک زنجیر مارکوف را تشکیل می دهند [۱]. یعنی، \tilde{z} فقط به z بستگی دارد و نیز فقط به x

بستگی دارد. کمیتی که در ۲،۱۲ تعریف شد امید ریاضی شرطی اعوجاج است، که سیگنال x مشخص

ورودی اینکدر آن را می دهد.

شکل ۳،۱۸ مقایسه ISCD با کوانتیزاسیون برداری/اسکالر، نرخ ۱/۲ کدینگ کانال و نگاشت بیت بهینه محدودیت های نظری عملکرد (OPTA)

۳،۵ جمع بندی

ما دیکدینگ منبع-کانال تکرارشونده (ISCD) را برای سیستم های ارتباطی که از کدهای کانال باینری استفاده می کنند، بحث کردیم. ISCD از یک الگوریتم دیکدینگ منبع-کانال همزمان نزدیک به بهینه نشئت گرفته شده است که به وسیله جایگذاری یک تقریب اجازه می دهد شما را به دو الگوریتم سازنده تجزیه کند یعنی الگوریتم احتمال قیاسی سمبل به سمبل مشهور برای دیکدینگ کانال و یک دیکدر منبع احتمال قیاسی جدیدا تعریف شده. مانند دیکدینگ توربو کدها، هر دو الگوریتم به صورت متناوب در چندین تکرار اعمال شده اند.

در شبیه سازی که در آن کدهای چرخشی استفاده شده بودند، ما نشان دادیم که ISCD به یک کیفیت انتقال واقعا بهتر از الگوریتم های سازنده اش که فقط یک بار اعمال شده اند می رسد. علاوه بر این، استفاده از یک اینترلیو به یک افزایش زیاد در عملکرد منجر می شود. هر دو عملکرد مطلق ISCD و بهره استفاده از یک اینترلیو به یک افزایش پیدا کند به خاطر اینترلیو افزایش پیدا می کند.

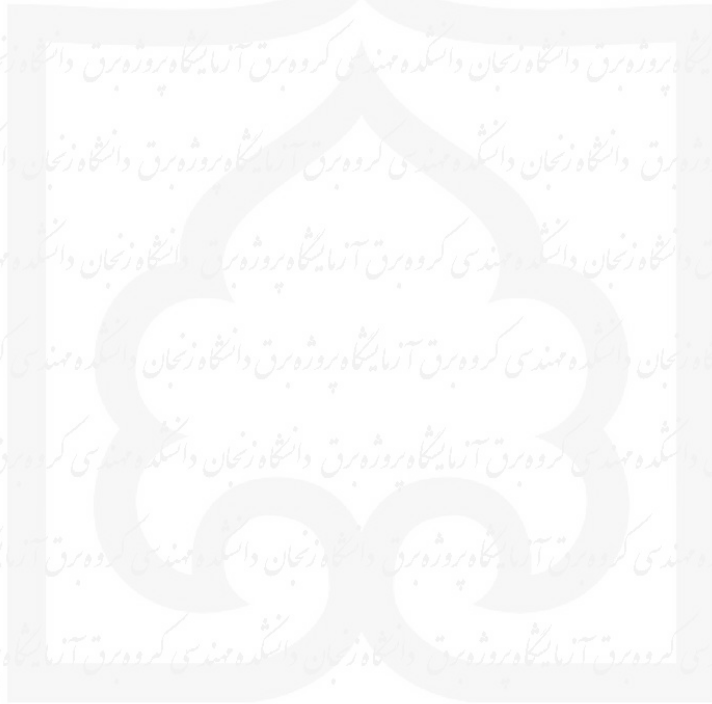
علاوه بر این، ما یک الگوریتم جدید با پیچیدگی واقع بینانه برای بهینه سازی نگاشت بیت کوانتیزه کننده برای استفاده در ISCD بیان کردیم. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که پیشرفت های زیاد دوباره در انتقال کیفیت برای هر دو کوانتیزه کردن اسکالر و برداری بدست آمده است. چونکه روش بهینه سازی کاملا همگانی است، می تواند در سناریوهای دیگر مثل مدولاسیون کدشده bit-interleaved که فرایند اینترلیو اعمال شده و نگاشت های بیت بهینه خواهند شد، استفاده شود [۲۹].

در کل، ISCD در استفاده هایی که بلوک های با طول متوسط بیت های دیتای همبسته انتقال داده شده اند، کارایی خوبی دارد. آن برای ترکیب با کدکننده های منبع عملی برای سیگنال های صحبت، صدا، یا

عکس مناسب است، چونکه از اضافات منبع در یک راه سیستماتیک استفاده می کند و اجازه ترکیب
شماهای کوانتیزاسیون برداری یا اسکالر با نرخ بیت قابل انتخاب در یک الگوریتم دیکدینگ همزمان را
می دهد.

علاوه بر این، ISCD در دیکدر یک پیچیدگی مقیاس پذیر را ارائه می دهد، و این بستگی به طراح سیستم

دارد که چه تعداد تکرار انجام شود.



مراجع

1- McElice2002

2-Heinen(2001)

3-Farvardin and Vaishampaian(1991)

4-Goertz and Kliewer(2003)

5-Schroeder and Atal(1985)

6-Goertz(1999)

7-McElice (2002); Cover and Thomas(1991);Gallager(1968)

8-Lin and Costello(1983)

9-Jayant and Noll (1984)

10- Masnick and Wolf (1967)

11-Hagenauer (1995)

۱۲-Alajaji et al. (۱۹۹۶); Fazel and Fuja (۲۰۰۳)

۱۳-Phamdo and Farvardin (۱۹۹۴); Fingscheidt and Vary (۱۹۹۷);

Skoglund(۱۹۹۹); Sayood and Borkenhagen (۱۹۹۱); Miller and Park (۱۹۹۸)

۱۴-Goertz (۲۰۰۱b); Perkert et al. (۲۰۰۱)

۱۵-Berrou and Glavieux (۱۹۹۶); Hagenauer et al. (۱۹۹۶)

۱۶- (Lloyd-Max quantizer [Jayant and Noll (۱۹۸۴)])

۱۷-[Goertz (۱۹۹۸)]

۱۸-[Phamdo and Farvardin (۱۹۹۴); Fingscheidt and Vary (۱۹۹۷)]

۱۹-[Goertz and Heute (۲۰۰۰); Goertz (۲۰۰۰)]

۲۰-[Goertz (۲۰۰۱b,a)]

۲۱-[Hagenauer et al. (۱۹۹۶)]

۲۲-[Hagenauer et al. (۱۹۹۶); Berrou and Glavieux (۱۹۹۶)]

۲۳-[Hagenauer et al. (۱۹۹۶)]

۲۴-[Hagenauer et al. (۱۹۹۶)]

۲۵- [Berrou and Glavieux (۱۹۹۶)]

۲۶- [Zeger and Gersho (۱۹۹۰)]

۲۷-[Berrou and Glavieux (۱۹۹۶); Hagenauer et al. (۱۹۹۶)].

۲۸- Zimmermann (۲۰۰۳)

۲۹-[Schreckenbach et al. (۲۰۰۳)]