

معرفی يك روش سریع کدگذاری در چندی کردن برداری

محمد رضا عارف

دانشیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی اصفهان

مهدی برنجکوب

عضو جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

چندی کردن برداری بعنوان يك وسیله قدرتمند در عرصه فشرده سازی منابع اطلاعات، با مسأله هزینه های زیاد محاسباتی و حافظه ای روبرو است. راه حل های متنوعی برای مقابله با این مشکل مطرح گردیده اند که عموماً مستلزم کاهش کیفیت می باشند. در این مقاله روشی ارائه می گردد که دارای انعطاف پذیری مناسبی در حصول يك معاوضه بین کیفیت و سرعت است. کار آیی این روش در ابعاد کوچک، بدون کاهش قابل توجه در کیفیت، قابل ملاحظه است.

A Fast Coding Algorithm For Vector Quantization

Mohammad R. Aref, Ph.D.

Assoc. Prof. Isfahan University of Tech.

Mehdi Berenjkoub, M.Sc.

Jahad Daneshgahi, Isfahan University of Tech.

ABSTRACT

Vector quantization, as a powerful way in the field of source coding engages with high computation and storage cost. Different solutions have been proposed to solve this problem that generally require reduction of the quality. In this paper, related to these efforts, a solution has been presented. It has a fine flexibility to obtain a trade-off between quality and speed. The efficiency of this solution in low dimensions is high without remarkable reduction in quality.

مقدمه

در فشرده سازی سیگنالها تا قبل از دهه ۱۹۸۰، از روشهای متداول چندی کردن اسکالر^۱ بهره گرفته می شد [۱]. ضعف اصلی این روشها، عدم توانائی آنها در حذف وابستگیهای غیر خطی موجود بین نمونه های مجاور سیگنال دیجیتال است [۲]. علاوه براین، میزان فشرده سازی اطلاعات نیز دارای يك محدودیت طبیعی است و حداکثر به میزان داده های^۲ يك بیت بر نمونه ختم می گردد [۳].

پردازش دیجیتال سیگنالها و کاربردهای متنوع و روزافزون آن، پرداختن به فشرده سازی دیجیتال منابع اطلاعات را ایجاب میکند. صحبت و تصویر از اهم منابع اطلاعات واقعی هستند که وابستگیهای زیادی بین نمونه های آنها موجود است و مصادیق بارزی برای بیان کار آیی و اهمیت فشرده سازی دیجیتال سیگنالها محسوب می گردند.

اعوجاج است. محاسبه اعوجاج مستلزم تعیین معیاری برای اندازه گیری آن است که متداولترین آنها، معیار "میانگین مربعات خطا"^۵ (MSE) است:

$$d(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x(n) - y(n)]^2 \quad (3)$$

از محاسن این معیار معادل بودن آن با فاصله در فضای اقلیدسی است. در عمل يك چندی کننده برداری از دو تابع مجزای "کدگذار"^۶ و "کدبرگردان"^۷ تشکیل می شود. اگر $\{1, 2, \dots, L\}$ ، مجموعه اندیس های کتاب کد، را J بنامیم، توابع کدگذار E و کدبرگردان D بصورت زیر خواهند بود:

$$E : R^N \longrightarrow J \quad (4)$$

$$D : J \longrightarrow Y \quad (5)$$

و بنابراین:

$$Q = D \cdot E \quad (6)$$

براساس معیار اندازه اعوجاج MSE، چندی کننده L عضوی Q را نسبت به متغیر تصادفی $X \in R^N$ بهینه نامند اگر میانگین مربعات خطای بین X و $Q(X)$ حداقل باشد. به عبارت دیگر Q بهینه است اگر به ازای هر چندی کننده L عضوی Q دیگر رابطه زیر برقرار باشد:

$$E\{\|x - Q^*(x)\|^2\} \leq E\{\|x - Q(x)\|^2\} \quad (7)$$

که در آن نماد $\|\cdot\|$ بیانگر نرم است. دو شرط لازم برای نیل به چندی کردن بهینه عبارتند از:
الف - قانون نزدیکترین همسایه (با کتاب کد مفروض):

$$Q(x) = y_i \text{ iff } d(x, y_i) \leq d(x, y_j) \quad i \neq j, \quad 1 \leq i \leq L \quad (8)$$

ب - انتخاب مرکز ثقل هر ناحیه بعنوان بردار کد (با نواحی کد مفروض):

$$y_i = \text{Cent}(C_i) \quad (9)$$

که $\text{Cent}(\cdot)$ نماد مرکز ثقل است و معیار اندازه اعوجاج نحوه محاسبه آن را تعیین می کند.

لوید [۵] و ماکس [۶] دو شرط لازم فوق را طی يك الگوریتم تکراری برای طراحی يك چندی کننده اسکالر بکار گرفتند و سپس تعمیم برداری الگوریتم مذکور برای تربیت کتاب کد در يك چندی کننده برداری ارائه گردید [۴]. این الگوریتم "الگوریتم لوید تعمیم یافته"^۸ یا "الگوریتم LBG"^۹

چندی کردن برداری بعنوان يك روش قدرتمند فشرده سازی سیگنالهای دیجیتال، در ضمن دارا بودن توان حذف وابستگیهای غیرخطی موجود بین نمونه های مجاور، امکان استفاده از بعد را به منظور فشرده سازی هرچه بیشتر داده ها و نیل به میزان داده های کمتر از يك بیت برنمونه مطرح می سازد. هر چند ایده چندی کردن برداری و کارآیی درخور توجه آن، سابقه در قضایای معروف شانون در تئوری اطلاعات دارد. لیکن تا دهه گذشته که الگوریتم مشخص و کارآمدی براساس این ایده معرفی شد، یکه تازی چندی کردن برداری در صحنه عمل به تعویق افتاد [۴]. در ازای مزایای عمده فوق الذکر، سیستمهای فشرده ساز مبتنی بر چندی کردن برداری با مشکل هزینه های زیاد محاسباتی و حافظه ای روبرو هستند. برای رفع این اشکال، تلاشهای گسترده ای در عرصه فشرده سازی سیگنالهای دیجیتال صورت گرفته است [۱]. هدف این مقاله طرح یکی از این تلاشها و ارائه نتایج حاصل از آن است.

در این مقاله ابتدا به معرفی چندی کردن برداری می پردازیم و با ماهیمی از قبیل کتاب کد، کدگذاری، کدبرگردانی، تربیت کتاب کد و اندازه اعوجاج آشنا می گردیم و سپس الگوریتم اصلی تربیت کتاب کد همراه با روش استاندارد کدگذاری داده ها معرفی می شود. در ادامه، روشی برای کاهش هزینه کدگذاری مطرح می گردد که از آن با نام "روش نظم دهی پویا به کتاب کد" یاد می کنیم. در نهایت ضمن ارائه نتایج شبیه سازی به مقایسه روش مذکور با روش کدگذاری استاندارد می پردازیم.

۱ - چندی کردن برداری

يك چندی کننده برداری، نگاشتی از فضای اقلیدسی N بعدی، به یک زیرمجموعه محدود Y از این فضا است:

$$Q : R^N \longrightarrow Y = \{y_1, \dots, y_L\} \quad (1)$$

مجموعه Y "کتاب کد"^۳، هر عضو آن "بردار کد"^۴، تعداد اعضای آن "اندازه کتاب کد" (L) و N "بعد کتاب کد" نامیده می شود. متناظر با هر بردار کد y_i ، يك ناحیه محصور C_i در فضای اقلیدسی N بعدی وجود دارد که هر عضو آن توسط نگاشت Q به y_i تصویر می گردد. به عبارت دیگر:

$$C_i \triangleq Q^{-1}(y_i) = \{x \in R^N ; Q(x) = y_i\} \quad (2)$$

در واقع فضای اقلیدسی N بعدی توسط مجموعه C_i ها افراز می گردد.

اعوجاج حاصل از چندی کردن بردار x توسط بردار کد y_i ، که با نماد $d(x, y_i)$ نمایش داده می شود، کیفیت چندی کردن را تعیین می کند. در حقیقت هدف اصلی حداقل سازی متوسط این

نامیده می‌شود و در چهار قدم زیر قابل بیان است:

قدم اول (تعیین شرایط اولیه) - در شمارنده صفر قرار داده می‌شود و با یک روش مناسب بردارهای کد اولیه انتخاب می‌شوند.

قدم دوم (دسته‌بندی) - دنباله تربیت کننده^۱، مشتمل بر تعداد زیادی بردار ورودی نوعی، با استفاده از قانون نزدیکترین همسایه به L دسته متناظر با بردارهای کد تقسیم می‌شود.

قدم سوم (تازه کردن) - به شمارنده یکی اضافه می‌شود و مرکز ثقل هر یک از دسته‌های L گانه حاصل شده از قدم دوم بعنوان بردار کد جدید محاسبه می‌شود.

قدم چهارم (تصمیم‌گیری) - اگر میزان کاهش متوسط اعوجاج از حد آستانه بیشتر است به قدم دوم باز می‌گردد و در غیراین صورت الگوریتم متوقف می‌شود.

با استفاده از الگوریتم تکراری فوق یک کتاب کد به اندازه L ، که شرایط لازم بهینگی را در بردارد، تربیت می‌شود. با تهیه کتاب کد همه چیز برای بکارگیری چندی کننده برداری فراهم است. اعمال کدگذاری در فرستنده و کدبرگردانی درگیرنده مطابق روابط (۴) و (۵) انجام می‌گیرد. در کدگذاری برای انتخاب اندیس مناسب از مجموعه L متناظر با بردار ورودی x براساس رابطه (۸) جستجوی کامل کتاب کد ضرورت دارد. جستجوی کامل کتاب کد، که به روش استاندارد موسوم است، مستلزم هزینه‌های محاسباتی و حافظه‌ای قابل ملاحظه‌ای است که با افزایش میزان داده‌ها بطور نمایی افزایش می‌یابد.

برای کاهش "هزینه" کدگذاری در چندی کردن برداری تلاش‌های وسیعی صورت گرفته است. برخی از این تلاش‌ها با قدری عدول از کیفیت به دنبال کاهش هزینه‌ها هستند و برخی دیگر بدون عدول از کیفیت و با افزودن قدری پیش‌محاسبه در پی کاهش هزینه‌ها می‌باشند. بدیهی است که دستیابی به هدف مذکور، بدون عدول از کیفیت، به مراتب مشکلتر است و ما در قسمت بعد روشی در همین راستا پیشنهاد خواهیم کرد.

۲- روش نظم‌دهی پویا به کتاب کد

برای جلوگیری از کاهش کارایی در روند کدگذاری، لازم است اصل دستیابی به نزدیکترین همسایه رعایت شود. نیل بدین منظور، مستلزم جستجوی کامل کتاب کد است. برای امکان کاهش هزینه کدگذاری و افزایش سرعت سیستم در عین حفظ کیفیت، این ایده می‌تواند مطرح شود که اگر اعضای کتاب کد بطور مناسب مرتب شوند، احتمال دسترسی سریعتر به $Q(x)$ قابل افزایش است. نظم‌دهی به اعضای کتاب کد می‌تواند مستقل از بردار ورودی x و یا وابسته و وفق داده شده به آن صورت پذیرد. حالت اول را "نظم‌دهی ایستا به کتاب کد" و حالت دوم را "نظم‌دهی پویا به کتاب کد" می‌نامیم. بدیهی است چنانچه بتوان اعضای کتاب کد را به گونه‌ای مناسب، وابسته به بردار x

مرتب ساخت به احتمال زیاد می‌توان صرفه‌جویی بیشتری در هزینه انتظار داشت. در حقیقت باید در پی راهی بود که در روند جستجوی نزدیکترین همسایه، بنحوی اولویت به بردارهای کد در مجاورت با بردار ورودی x داده شود. برای این منظور از ایده "تشخیص نمادها" کمک می‌گیریم [۷].

ایده کلی این است که چند بردار کد را بعنوان نقاط مرجع در نظر گرفته، اعوجاج یا فاصله سایر اعضای کتاب کد را از آنها در لیستهای متناظر درج می‌نمائیم. چنانچه لیستهای مذکور برحسب افزایش فاصله مرتب شوند، می‌توان به سادگی بردارهای کد دارای فاصله مشابه با ورودی x را در لیستهای مختلف یافت، و جستجوی $Q(x)$ را در بین آن بردارهای کدی که در همه لیستها موجودند محدود ساخت. ایده آل این است که بتوان به یک حجم کروی N بعدی به مرکز x و به شعاع به اندازه دلخواه کوچک دست یافت، سپس به تدریج شعاع این فوق کره را آنقدر افزایش داده تا یک بردار کد در درون آن واقع شود. بدیهی است که بردار کد مذکور همان $Q(x)$ خواهد بود. براساس ایده مذکور حداکثر می‌توانیم به یک ناحیه N بعدی با هندسه نامعین، ولی با حجم به اندازه دلخواه کوچک، که بردار x در درون آن واقع است دست یافت. همانطور که مشاهده خواهیم کرد افزایش تدریجی ابعاد مختلف حجم کوچک مذکور حول x به موقیعت هندسی اعضای کتاب کد بستگی دارد. با انحلال در عمل می‌توان با بزرگتر انتخاب کردن حجم ناحیه حول x مشکل عدم کنترل بر روی هندسه این ناحیه را حل کرد. بدین ترتیب به قیمت نیاز به جستجوی کامل نزدیکترین همسایه در ناحیه مذکور، عدم عدول از کیفیت قابل تحقق است.

اگر تنها یک مرجع R_1 اختیار شود، مکان هندسی بردارهای کد تقریباً هم‌فاصله با $d(x, R_1)$ ، بر روی یک حلقه N بعدی به مرکز R_1 و با شعاع تقریبی $d(x, R_1) \pm \Delta$ قرار خواهد داشت (Δ یک همسایگی به اندازه دلخواه کوچک حول $d(x, R_1)$ است). به عبارت دیگر استفاده از یک مرجع، هیچ یک از ابعاد N گانه مکان را کاملاً محدود نمی‌سازد. آنگاه که دو نقطه مرجع R_1 و R_2 اختیار شوند، مکان هندسی بردارهای کد تقریباً هم‌فاصله با $d(x, R_1)$ و $d(x, R_2)$ بر روی ناحیه مشترک حاصل از تقاطع دو حلقه N بعدی به مراکز R_1 و R_2 و با شعاع‌های تقریبی $d(x, R_1) \pm \Delta$ و $d(x, R_2) \pm \Delta$ قرار خواهد داشت. این ناحیه مشترک در حالت کلی یک حلقه $(N-1)$ بعدی است و در حقیقت به شرط آنکه نقاط مرجع R_1 و R_2 متمایز باشند، تنها یکی از ابعاد N گانه مکان کاملاً محدود شده است. در حالت خاص $N=1$ ، با استفاده از دو نقطه مرجع می‌توان به یک فاصله محدود با اندازه دلخواه حول x بر روی محور اعداد حقیقی دست یافت. آنگاه که سه نقطه مرجع R_1 ، R_2 و R_3 اختیار شوند، مکان هندسی بردارهای کد تقریباً هم‌فاصله با $d(x, R_1)$ ، $d(x, R_2)$ و $d(x, R_3)$ بر روی ناحیه مشترک حاصل از تقاطع سه

جدول ۱ - هزینه پیش‌محاسبات روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد برای سه نقطه مرجع

ضرب	$4NL$
جمع	$10NL + 1/5L^2$
مقایسه	$3L^2 + 7L$
انتقال اطلاعات	$3L^2 + 4NL + 27L$
حجم حافظه (کلمه)	$(N + 5)L$

که در پیش ذکر شد، جستجوی بردار کد در ناحیه کوچکی حول بردار ورودی X است. چنانچه بردار کدی در ناحیه مذکور وجود داشته باشد، همان بعنوان $Q(x)$ انتخاب می‌شود. در صورتی که هیچ بردار کدی در آن ناحیه یافت نشود، با افزودن ضخامت حلقه‌های N بعدی (Δ)، اقدام به افزایش حجم محصور حول بردار ورودی X می‌نمائیم. این کار آنقدر تکرار می‌شود تا بالاخره بردار کدی در حجم محصور قرار بگیرد. در این روند دلیلی برای دستیابی به تنها یک بردار کد وجود ندارد. در صورت وجود چندین بردار کد، با استفاده از قانون نزدیکترین همسایه، $Q(x)$ را از بین آنها انتخاب می‌کنیم.

برای حالتی که از سه نقطه مرجع استفاده شود، کدگذاری با روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد را می‌توان در سه قدم زیر خلاصه نمود:

الف - فاصله (اعوجاج) بردار ورودی X را از سه نقطه مرجع R_1 ، R_2 و R_3 محاسبه نموده به ترتیب آنها را d_1 ، d_2 و d_3 می‌نامیم. طی یک روند جستجوی دوتایی نشانگر P_i ، $1 \leq i \leq 3$ ، متناظر با لیست D_i طوری یافت می‌شود که برای هر فاصله d_i ، $1 \leq i \leq 3$ داشته باشیم:

$$D_i(P_i) \leq d_i \leq D_i(P_i+1)$$

که در آن $D_i(P_i)$ عضو P_i لیست D_i را نشان می‌دهد. ب - اندیس مشترک در میان سه جفت اندیس $(I_i(P_i+1), I_i(P_i))$ ، $1 \leq i \leq 3$ ، یافت می‌شود. اگر اندیس مشترکی یافت نشود، در بین سه دسته اندیس $(I_i(P_i-1), I_i(P_i), I_i(P_i+1))$ و $(I_i(P_i+2), I_i(P_i+1))$ ، اندیس مشترک را جستجو می‌کنیم. به همین ترتیب گسترش شعاع همسایگی حول نشانگر P_i را آنقدر ادامه می‌دهیم تا بالاخره اندیس یا اندیسهای مشترک یافت شود.

ج - در صورتی که بیش از یک اندیس مشترک در قدم قبل یافت شد، با استفاده از قانون نزدیکترین همسایه اندیس متناظر با $Q(x)$ انتخاب می‌شود.

در صورتی که عدول از کیفیت، حتی به مقدار ناچیز قابل تحمل نباشد. علاوه برآنکه تعداد نقاط مرجع بایستی برابر $N+1$ عدد در نظر گرفته شود، لازم است شعاع همسایگی حول نشانگرها بزرگتر انتخاب شود. این امر موجب می‌شود که کروی

حلقه N بعدی به مراکز R_1 ، R_2 و R_3 با شعاع‌های تقریبی $d(x, R_1) \pm \Delta$ ، $d(x, R_2) \pm \Delta$ و $d(x, R_3) \pm \Delta$ قرار خواهد داشت. این ناحیه مشترک در حالت کلی یک حلقه $(N-2)$ بعدی است و در حقیقت به شرط آنکه سه نقطه مرجع یک صفحه دوبعدی را تولید کنند، تنها دو بعد از ابعاد N گانه مکان کاملاً محدود شده است. با افزودن تعداد نقاط مرجع، با استدلالی مشابه می‌توان نشان داد که ابعاد N گانه مکان یکی پس از دیگری محدود می‌شوند. بدین ترتیب با استفاده از $N+1$ نقطه مرجع، به شرط اینکه این نقاط بتوانند یک صفحه N بعدی را تولید کنند، در حالت کلی می‌توان به یک ناحیه مشترک حاصل از تقاطع حلقه‌های N بعدی به مراکز R_i ، $1 \leq i \leq N+1$ و با شعاعهای تقریبی $d(x, R_i) \pm \Delta$ دست یافت که از تمامی ابعاد کاملاً محدود بوده و حجم آن به اندازه دلخواه کوچک باشد. شکل هندسی این ناحیه مشترک به وضعیت نسبی نقاط مرجع و بردار X بستگی دارد. ونی با افزایش نقاط مرجع می‌توان آن را هرچه بیشتر به یک فوق کره N بعدی نزدیک ساخت.

در ادامه برای حالتی که از سه نقطه مرجع استفاده شود، ایده مورد بحث را دقیقاً مورد بررسی قرار می‌دهیم. بدیهی است که چنانچه کتاب‌کد دارای بعد $N=2$ باشد کیفیت مطلوب بوده و برای ابعاد بزرگتر با کاهش کیفیت مواجه خواهیم بود. در حقیقت ناحیه مشترک حاصل از تقاطع دو حلقه دوبعدی به مراکز R_1 و R_2 و با شعاعهای تقریبی $d(x, R_1) \pm \Delta$ و $d(x, R_2) \pm \Delta$ شامل دو سطح مجزای متقارن می‌باشد. که با تقاطع حلقه دو بعدی سوم به مرکز R_3 و با شعاع تقریبی $d(x, R_3) \pm \Delta$ یکی از دو سطح مذکور که بردار X در آن واقع است انتخاب می‌شود.

روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد، برای حالتی که از سه نقطه مرجع استفاده شود، قبل از کدگذاری نیازمند انجام مراحل زیر، برای یکبار، بعنوان پیش‌محاسبه می‌باشد:

الف - انتخاب نقاط مرجع R_1 ، R_2 و R_3 از بین اعضای کتاب‌کد به نحوی که در راستای یک خط نباشند.

ب - یافتن اعوجاج (فاصله) اعضای کتاب‌کد که از هر یک از نقاط مرجع R_1 ، R_2 و R_3 تشکیل لیستهای L تایی به ترتیب D_1 ، D_2 و D_3 متشکل از اعوجاج‌های مذکور.

ج - مرتب کردن لیستهای D_1 ، D_2 و D_3 و تشکیل دو لیست جدید از اندیس بردارهای کد متناظر با لیستهای مرتب شده D_2 و D_3 با نامهای I_2 و I_3 (اندیس بردارهای کد را می‌توان براساس لیست مرتب شده D_1 انتخاب کرد و بنابراین نیازی به لیست اندیس I_1 متناظر با آن نیست).

هزینه‌های محاسباتی و حافظه مورد نیاز الگوریتم فوق در جدول ۱ ارائه گردیده است [۱]. پارامترهای N و L مورد استفاده در این جدول به ترتیب بعد و اندازه کتاب‌کد هستند.

با انجام پیش‌محاسبات فوق، اکنون شرایط برای کدگذاری با روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد فراهم است. ایده کلی همانطور

نبودن ناحیه محصور حول x مسئله ساز نگردد، ولی در عوض حجم محاسبات در قدم ج ذکر شده در فوق افزایش می یابد. این پیشنهاد خصوصاً آنگاه که تعداد نقاط مرجع کمتر از $N+1$ باشد، در کاهش عدول از کیفیت بسیار مؤثر است. پیچیدگی الگوریتم کدگذاری با افزایش نقاط مرجع، چنانچه عدول از کیفیت در ازای دستیابی به هزینه و پیچیدگی کمتر قابل قبول باشد، بزرگتر انتخاب کردن شعاع همسایگی و استفاده از نقاط مرجع کمتر را قابل توصیه می سازد.

روند نمای الگوریتم کدگذاری با روش نظم دهی پویا به کتاب کد بر مبنای قدمهای سه گانه فوق و با امکان انتخاب شعاع همسایگی دلخواه نشانگرها، در ضمیمه آورده شده است. هزینه های محاسباتی و حافظه ای مورد نیاز در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲ - هزینه کدگذاری با روش نظم دهی پویا به کتاب کد با استفاده از سه نقطه مرجع (J شعاع همسایگی و B لگاریتم مبنای دواندازه کتاب کد است).

ضرب	$3N + 6B$
جمع	$6(N + B) + 1/2J^2$
مقایسه	$24J^2$
انتقال اطلاعات	$4(N + B) + 1/2J^2$
حجم حافظه (کلمه)	$(N + 5)L$

۳ - ارائه نتایج

به منظور بررسی کارآیی روش نظم دهی پویا به کتاب کد و مقایسه آن با روش کدگذاری استاندارد، الگوریتمهای متناظر بر روی کامپیوتر شخصی IBM XT-286 پیاده سازی گردید. مقایسه عملی روشهای مختلف کدگذاری VQ، مستلزم در اختیار داشتن کتاب کد است.

به خاطر اجتناب از درگیر شدن با مراحل نسبتاً پیچیده طراحی کتاب کد، شبیه سازی آن در دستور کار قرار گرفت. با توجه به استفاده از معیار MSE، در حوزه کدبندی صوتی^{۱۱}، می بایست LAR^{۱۲} های حاصل شده از تحلیل پیشگویی خطی^{۱۳} مدلسازی شوند. با بکارگیری تابع چگالی شناخته شده ضرایب انعکاس^{۱۴} (K_i) برآمده از تحلیل پیشگویی خطی و با توجه به رابطه:

$$LAR_i = \log \frac{1 + K_i}{1 - K_i}$$

می توان به سادگی به مدلسازی LAR ها و نهایتاً شبیه سازی کتاب کد اقدام نمود [۱].

برای مقایسه روش نظم دهی پویا به کتاب کد با روش کدگذاری استاندارد روند زیر برگزیده شد.

بردارهای LAR برآمده از تحلیل پیشگویی خطی متناظر با قطعات متوالی صحبت، شبیه سازی گردیده و با استفاده از دو الگوریتم کدگذاری مورد نظر، اندیس متناظر با نزدیکترین عضو کتاب کد جستجو می شود. نتایج حاصله را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

الف - الگوریتمهای کدگذاری VQ استاندارد و نظم دهی پویا به کتاب کد با استفاده از سه نقطه مرجع، برای پارامترهای بعد $N=2$ و اندازه کتاب کد $L=512$ مقایسه گردیدند. کیفیت کدگذاری با روش نظم دهی پویا به کتاب کد، با شعاع همسایگی $l=1$ ، با تنها $0/2$ دسی بل کاهش نسبت به روش استاندارد، از سرعت بیشتر از دو برابر نسبت به آن برخوردار بود. برای پارامترهای $N=3$ و $L=512$ ، آزمایش فوق تکرار شد. روش نظم دهی پویا به کتاب کد برای شعاع همسایگی $l=10$ با سرعت تقریباً دو برابر، نتایج مشابهی برای کیفیت کدگذاری به بار آورد.

ب - هنگامی که تعداد نقاط مرجع برابر $N+1$ است، می توان با مقدار ناچیزی عدول از کیفیت به یک کاهش جدی در هزینه های محاسباتی و حافظه ای دست یافت. این امکان با یک تغییر جزئی در الگوریتم کدگذاری، بدینگونه میسر می شود که اولین اندیس مشترک یافته شده در شعاع همسایگی حول نشانگرهای لیست ها، به عنوان اندیس $Q(x)$ جهت گیرنده ارسال می گردد. در این صورت دیگر نیازی به ذخیره کتاب کد در کدگذاری نبوده و از این رهگذر علاوه بر صرفه جویی قابل توجه حافظه در کدگذار، سرعت کدگذاری نیز نزدیک به دو برابر افزایش می یابد.

ج - دو الگوریتم کدگذاری مورد بحث برای پارامترهای $N=12$ و $L=512$ مورد بررسی قرار گرفتند. روش نظم دهی پویا به کتاب کد با استفاده از سه نقطه مرجع، با شعاع همسایگی $l=10$ ، با سرعتی متجاوز از سه برابر، کاهش کیفیتی در حدود $3/5$ دسی بل نسبت به روش VQ استاندارد نشان می دهد. با افزایش شعاع همسایگی به $l=50$ ضمن کاهش سرعت به نسبت ۲۵ درصد، کیفیت تا نزدیک به دو دسی بل نسبت به قبل بهبود می یابد. با افزودن بیشتر شعاع همسایگی به مقدار $l=100$ ، کیفیت کدگذاری نسبت به روش استاندارد تنها کمتر از $0/5$ دسی بل کاهش نشان می دهد. لیکن زمان کدگذاری نیز به بالغ بر ۸۰ درصد روش استاندارد افزایش می یابد. به هر حال افزایش شعاع همسایگی مطابق انتظار، کیفیت روش نظم دهی پویا به کتاب کد را علیرغم تعداد کمتر نقاط مرجع نسبت به بعد کتاب کد، به سمت روش VQ استاندارد سوق می دهد. همچنین امکان انتخاب متناسب با شرایط شعاع همسایگی، انعطاف قابل توجهی به این روش می دهد.

د - افزودن تعداد نقاط مرجع از سه به چهار، در روش نظم دهی پویا به کتاب کد، در شرایط مشابه و برای پارامترهای $N=12$ و

۵۱۲ = L موجب بهبود کیفیت کدگذاری به مقدار ۰/۵ دسی‌بل و در ازای آن کاهش سرعت به نسبت ۲۵ درصد می‌گردد. این نتیجه نشان می‌دهد که شاید افزایش شعاع همسایگی روش کارآتری نسبت به افزایش تعداد نقاط مرجع باشد.

۴ - نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید کدگذاری در عرصه چندی کردن برداری معرفی گردید. مبانی نظری این روش و سپس نتایج عملی حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزاری آن در مقایسه با

روش کدگذاری استاندارد ارائه گردید. نتایج مطرح شده، به خوبی حکایت از کارآیی این روش در فضاهای با ابعاد محدود دارد. در کاربردهای کدبندی صوتی نیز روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد با امکان کنترل شعاع همسایگی، از انعطاف قابل توجهی در حصول یک معاوضه بین کیفیت و سرعت برخوردار است. روش مورد بحث بخصوص آنگاه که در پیاده‌سازی از پردازنده‌هایی که عمل مقایسه را خیلی سریعتر از محاسبات جمع و ضرب انجام می‌دهند استفاده گردد، از اهمیت و کارآیی بسزایی برخوردار خواهد بود.

پاورقی:

1. Scalar quantization

2. Bit rate

3. Codebook

4. Code vector

5. Mean- Squares Error

6. Encoder

7. Decoder

8. Generalized Lloyd algorithm

9. Linde, Buzo, Gray(LBG)

10. Training sequence

11. Vocoding

12. Log- Area- Ratio

13. Linear Prediction Analysis

14. Reflection Coefficients

مراجع:

۱. برنجکوب، مهدی: کاربرد چندی کردن برداری در فشرده‌سازی سیگنال صحبت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، خرداد ۱۳۷۰.

2. Makhoul, J., Roucos, S., Gish, H.; *Vector Quantization in Speech Coding, Proc. IEEE, Vol. 73, pp. 1551-1588, Nov.*

3. Jayant, N.S., Noll, P.; *Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video, New Jersey, Prentice-Hall, 1984.*

4. Linde, Y., Buzo, A., Gray, R.M.; *An Algorithm for Vector Quantizer Design, IEEE*

Trans. Commun., Vol. 28, pp.84-95, Jan. 1980.

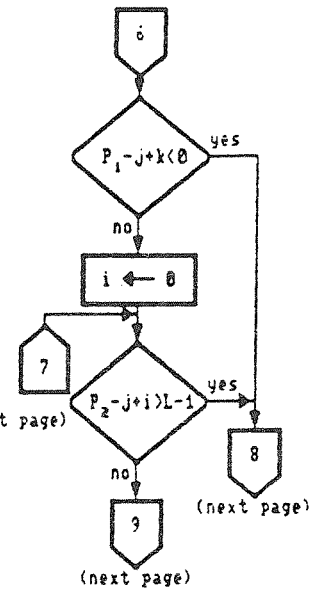
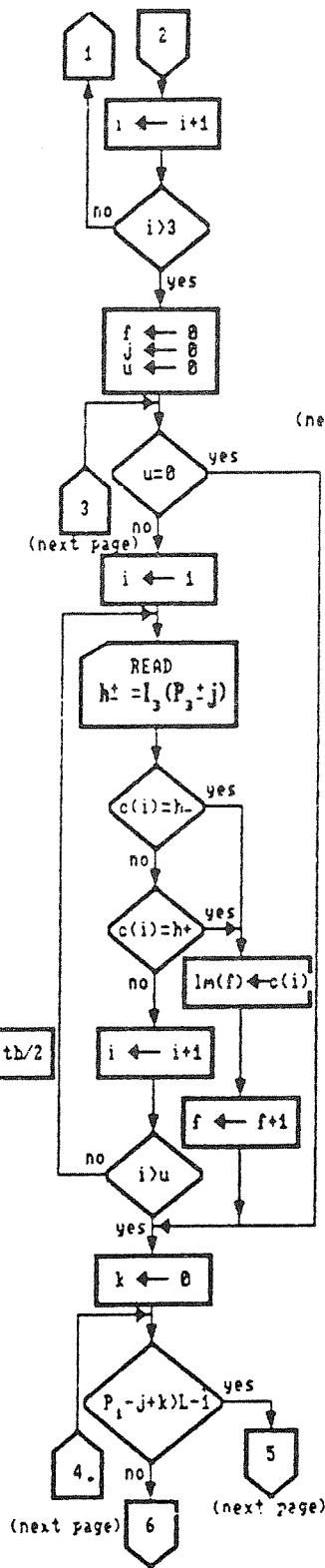
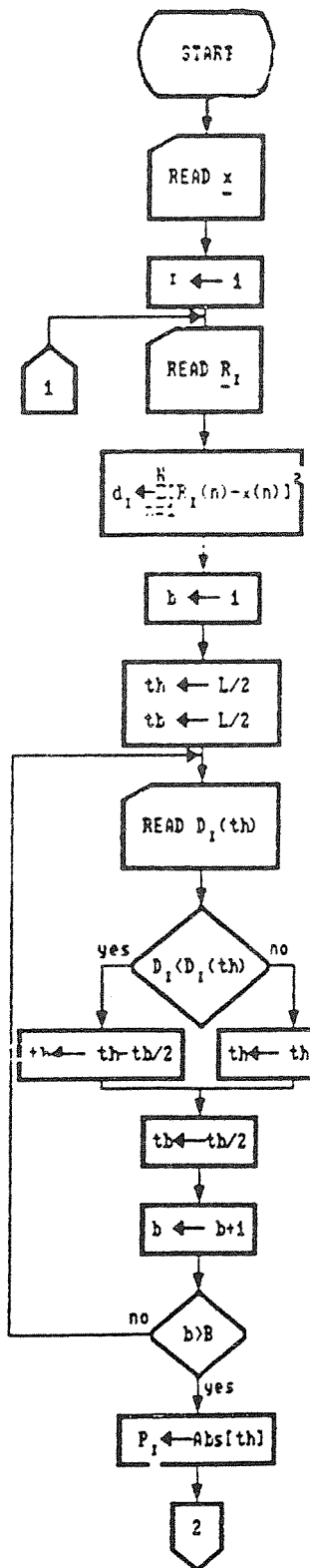
5. Lloyd, S.P.; *Least-Squares-Quantization in PCM, IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 28, No. 2, pp. 129-137, Mar. 1982.*

6. Max, J., *Quantizing for Minimum Distortion, IRE Trans. Inform. Theory, Vol. 6, No. 2, pp. 7-12, Mar. 1960.*

7. Sethi, I.K.; *A Fast Algorithm for Recognition Nearest Neighbors, IEEE Trans. Sys. Man, Cyber., Vol. 11, pp. 245-248, Mar. 1981.*

کارهای پژوهشی این مقاله با حمایت و استفاده از امکانات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان توأم بوده است که در اینجا از این نهاد محترم تشکر می‌گردد.

ضمیمه: روندنمای الگوریتم کدگذاری با روش نظم‌دهی پویا به کتاب‌کد (صفحه بعد)



Inputs	$\langle y_i \rangle_{i=1, \dots, L}$
	$\langle R_i \rangle_{i=1, 2, 3}$
	$\langle D_i(1) \rangle_{i=0, \dots, L-1}$
	$\langle I_i(1) \rangle_{i=2, 3}$
	x
	N
	J
Output	$lmin$

- $B (= \log_2 L)$: تعداد بیت اندیس هر بردار کد
- $Abs(\cdot)$: جرم صحیح th
- P_i : موقع $d(R_i \text{ و } x)$ در لیست D_i
- J : شعاع همسایگی جستجو در لیست ها حول موقع P_i
- $c(i)$: اندیس مشترک I_i امیسی دولیست متناظر با مراجع R_2 و R_1
- $l_m(i)$: اندیس مشترک I_i امیسی دولیست های R_2 و R_1

