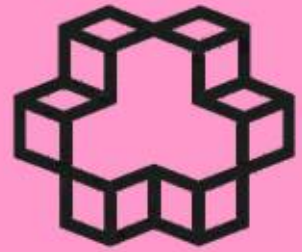




دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
هفتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند



7th Conference of Intelligence Systems
University of K.N.T.U

۲۹ و ۳۰ آذر و اول دی ماه ۱۳۸۴

نویسندگان محترم

با اهداء سلام

احتراما پيرو قبولی مقاله شما با عنوان:

الگوریتم تطبیقی برای کد گشایی سیگنال CID

تقاضا می‌شود آخرین نسخه اصلاح شده را جهت چاپ و درج در کتابچه کنفرانس با تکمیل فرم ثبت‌نام تا تاریخ ۱۳۸۴/۰۸/۳۰ از طریق پست الکترونیکی info@cis2005.info ارسال نمایید.

- فقط مقالاتی به چاپ خواهند رسید که بصورت شفاهی در زمان برگزاری کنفرانس ارائه گردند.
- برای دریافت فرم ثبت نام و اطلاع از نحوه برگزاری کنفرانس به سایت اینترنتی www.cis2005.info مراجعه نمایید.

محمد تشنه‌لب

دبیر هفتمین کنفرانس

سیستم‌های هوشمند

تهران، تقاطع سید خندان و شریعتی - نبش شرکت پست، دانشکده برق

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

صندوق پستی ۱۳۵۹-۱۶۳۱۵ تلفکس: ۸۸۴۶۲۳۲۹

الگوریتمی تطبیقی برای شناسایی شماره تلفن تماس گیرنده

مهدی سعادت‌مند طرزجان

شرکت نگرش رایانه

saadatmand@kiaeee.org

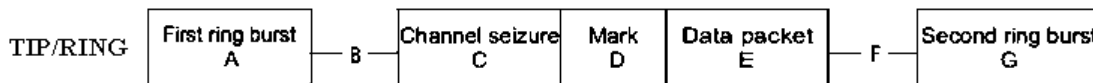
چکیده: در این مقاله الگوریتمی جدید به نام ADCID برای شناسایی شماره تلفن تماس گیرنده ارائه شده است. شرکت‌های مرکزی تلفن، قبل از برقراری ارتباط تلفنی اطلاعاتی از قبیل شماره تماس گیرنده، تاریخ و زمان تماس و نام تماس گیرنده را در قالب یک سیگنال مدوله شده با روش FSK (تحت عنوان سیگنال CID) برای مشترکین ارسال می‌کنند. الگوریتم پیشنهادی قادر است، اطلاعات موجود در سیگنال CID را تحت هر فرکانس نمونه‌برداری بخوبی کدگشایی نماید. این الگوریتم در گام اول با استفاده از یک الگوریتم پیش‌پردازشی، مدولاسیون فرکانس را به مدولاسیون دامنه تبدیل می‌کند و سپس با معرفی یک مدل و تنظیم پارامترهای آن بروش بیشترین شیب، به استخراج اطلاعات می‌پردازد. شبیه‌سازی‌ها بیانگر آن است که دقت الگوریتم پیشنهادی در حضور نویز گوسی با نسبت سیگنال به نویز بیش از 16^{dB} ، 100% می‌باشد. همچنین، در حضور نویز گوسی با نسبت سیگنال به نویز 3^{dB} ، به طور متوسط 94% بیت‌های داده بدرستی تشخیص داده می‌شوند. مشاهدات تجربی نیز بیانگر کارایی الگوریتم پیشنهادی است.

کلمات کلیدی: خدمات شناسایی تماس گیرنده (Caller ID)، مدولاسیون FSK، روش بیشترین شیب

۱- مقدمه

خدمات «شناسایی کاربر (CID)» عبارت است از خدماتی که شرکت‌های تلفن برای ارائه اطلاعاتی از قبیل شماره تلفن یا نام تماس گیرنده به مشترک، در ابتدای هر مکالمه، ایجاد نموده‌اند. هنگامی که یک تماس تلفنی برقرار می‌شود، اطلاعات مربوط به تماس گیرنده (معمولاً شامل تاریخ و زمان تماس، شماره تلفن و نام تماس گیرنده و ...)، در محدوده سکوتی که بین زنگ اول و دوم وجود دارد، به صورت یک سیگنال آنالوگ، با مدولاسیون FSK-فاز پیوسته (Phase-coherent frequency shift-keyed signal) [۱]، فرستاده می‌شود. در سیگنال مذکور، نرخ انتقال اطلاعات 1200 bit/s است و در آن بیت‌های صفر و یک به صورت سیگنال‌های سینوسی با فرکانس‌های به ترتیب 2200 و 1200 هرتز کد شده‌اند [۱]. امروزه فن‌آوری CID یکی از پرکاربردترین خدماتی است که توسط شرکت‌های تلفن ایجاد گردیده و در زمینه‌هایی چون تعیین موقعیت جغرافیایی کاربر [۲]، دستگاه‌های منشی تلفنی هوشمند [۳] و ارائه خدمات فروشگاهی و رزرو بلادرنگ به مشتری [۴-۵] کاربرد فراوانی یافته است.

تاکنون، برای استخراج اطلاعات کدگذاری شده در یک سیگنال CID الگوریتم‌ها [۶-۷] و سخت‌افزارهای متعددی [۸-۹] ارائه شده است. که از میان آنها، این مقاله به روش‌های دیجیتالی توجه دارد. در اینگونه الگوریتم‌ها معمولاً نرخ نمونه‌برداری به صورت مضربی صحیح از نرخ انتقال اطلاعات، $1200N$ ، انتخاب می‌شود. لذا، تعداد نمونه‌های بدست



شکل ۱: بخش‌های یک سیگنال CID

آمده برای هر بیت ثابت و برابر با N نمونه است. در این دسته از الگوریتم‌ها، نمونه‌های مربوط به هر بیت، به صورت مجزا و بدون توجه به قالب کلی سیگنال CID، پردازش و کدگشایی می‌شوند. در [۶] و [۷] دو نمونه از این نوع الگوریتم‌ها معرفی شده است. در [۶] به منظور کدگشایی CID، از روش کمترین مربعات غیرخطی (nonlinear least squares) و در [۷] از روش PCAR (principal component auto-regressive) [۱۰] که بر پایه تخمین پارامترهای یک مدل خودبازگشتی بنا نهاده شده، استفاده گردیده است. در اغلب کاربردها معمولاً با هدف کاهش هزینه‌های سخت‌افزاری و حجم محاسبات، سعی می‌شود، N تا حد ممکن کوچک اختیار شود. به عنوان مثال در [۶]، $N=4$ در نظر گرفته شده است. اما هنگامی که حجم نمونه‌ها کم است، دقت الگوریتم‌های استاندارد که از تبدیل فوریه گسسته (DFT) استفاده می‌کنند، کاهش می‌یابد. در [۷] نشان داده شده که در این شرایط، عملکرد روش حوزه زمانی PCAR از DFT بهتر است.

تمام مباحث فوق تنها تا زمانی که نرخ نمونه‌برداری CID مضربی صحیح از نرخ انتقال اطلاعات باشد، قابل دفاع است. اما چنانچه به عنوان مثال در یک منشی نرم‌افزاری، سیگنال صحبت با نرخ استاندارد مثلاً 8 kHz، نمونه‌برداری شود، دیگر نمی‌توان برای کدگشایی CID از روش‌های حوزه زمانی متداول استفاده نمود. علیرغم تلاش فراوان ما، منابع علمی قابل توجهی در این زمینه پیدا نگردید. در این مقاله الگوریتمی جدید برپایه روش بیشترین شیب (steepest descent) برای کدگشایی CID ارائه شده است. این الگوریتم قادر است، سیگنال CID را صرف نظر از اینکه با چه نرخ نمونه‌برداری شده است (حتی زمانی که فرکانس نمونه‌برداری مضربی از فرکانس انتقال اطلاعات نباشد)، کدگشایی نماید. شبیه‌سازی‌ها و نتایج تجربی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از دقت بسیار مطلوبی برخوردار بوده و در برابر نویز، پایداری مناسبی دارد. بخش‌های بعدی این مقاله بدین شرح است. بخش بعدی نگاهی اجمالی بر استانداردهای قالب‌بندی CID دارد. در بخش سوم فرآیند پیش‌پردازش بررسی خواهد شد. بخش چهارم به معرفی مدل پیشنهادی می‌پردازد. بخش پنجم به شرح الگوریتم پیشنهادی اختصاص یافته است. در بخش‌های ششم و هفتم به ترتیب شبیه‌سازی‌ها و نتایج تجربی ارائه گردیده است و در نهایت بخش هشتم به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲- استانداردهای قالب‌بندی CID

مطابق شکل (۱)، بخش‌های یک سیگنال CID به شرح ذیل است: (A) اولین سیگنال زنگ (معمولاً به مدت 2.2~0.2 s)؛ (B) سکوت از انتهای اولین زنگ تا شروع انتقال اطلاعات (حداقل به مدت 0.5 s)؛ (C) ۳۰۰ بیت متوالی یک و صفر، بصورت یک در میان (M&S)؛ (D) ۱۸۰ بیت یک (Ms)؛ (E) بخش مربوط به انتقال داده‌ها، (F) سکوت قبل از ارسال دومین سیگنال زنگ (حداقل به مدت 0.2 s) و (G) دومین سیگنال زنگ. بخش‌های C و D برای همگام‌سازی تجهیزات کدگشاینده با سیگنال در نظر گرفته شده‌اند. بخش E که شامل داده‌های انتقال یافته است، می‌تواند به دو شیوه تک پیغامی، SDMF (single data message format) و یا چند پیغامی، MDMF (multiple data message format) قالب بندی شود [۱]. در هر دو قالب مذکور، داده‌ها به صورت لغات هشت بیتی متوالی انتقال می‌یابند. در ابتدای هر لغت یک بیت صفر به عنوان بیت شروع و در انتهای آن یک بیت یک، به عنوان بیت خاتمه فرستاده می‌شود. همانطور که در بخش ۴ شرح داده شده است، الگوریتم پیشنهادی برای کدگشایی CID، از بخش‌های D و بیت‌های شروع و پایان لغات در بخش داده‌ها (E) استفاده می‌کند و لذا، برای هر دو قالب SDMF و MDMF قابل استفاده است.

۳- فرآیند پیش‌پردازش

در شکل (۲) نمودار بلوکی فرآیند پیش‌پردازش نشان داده شده است. در ابتدا سیگنال CID از دو فیلتر میانگذر H_{1200} و H_{2200} عبور داده می‌شود. سپس با عبور سیگنال‌های حاصل، از دو فیلتر ریخت‌شناسی از نوع توسعه [۱۲]

تخمینی از پوش دو سیگنال مذکور بدست می‌آید (سیگنال‌های S^1 و S^2). در نهایت از تفاضل دو سیگنال حاصل از مرحله قبل، سیگنال P بدست می‌آید. فیلترهای H_{1200} و H_{2200} از نوع باترورث (درجه شش) با پاسخ ضربه نامحدود (IIR) هستند و به صورت بازگشتی پیاده‌سازی شده‌اند [۱۳]. پاسخ فرکانسی این دو فیلتر در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۴)، سیگنال حاصل از اعمال الگوریتم پیش‌پردازشی بر یک سیگنال CID نمونه، نشان داده شده است. در این شکل، بخش‌های C (M&S)، D (Ms) و E (Data) از سیگنال CID نیز مشخص شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار سیگنال P در محل بیت‌های یک و صفر، به ترتیب مثبت و منفی است. همچنین، بخش Ms به صورت یک پله طولانی آشکار شده که به آسانی قابل تشخیص است. در بخش ۵، از این خصوصیت برای مقداردهی اولیه الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.

۴- مدل پیشنهادی

فرض کنید که مطابق شکل (۵)، در حالت ایده‌آل، مقدار سیگنال P (که در این حالت، آن را با Q نشان می‌دهیم) در محل یک‌ها و صفرها به ترتیب یک و منفی یک باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، زمانی شباهت P و Q در بخش‌های Ms ، $M&S$ و بیت‌های شروع و پایان در بخش $Data$ بیشینه/کمینه می‌شود که سطح زیر منحنی حاصلضرب آنها (منحنی شباهت) بیشینه/کمینه شود. در این حالت، گذر از صفرهای هر دو سیگنال P و Q کاملاً بر هم منطبق می‌شوند. به عبارت دیگر، چنانچه به طریقی سطح زیر منحنی شباهت مذکور بیشینه/کمینه شود، گذر از صفرهای هر دو سیگنال بر هم منطبق می‌شوند. سیگنال پیوسته Q به عنوان مدل پیشنهادی برای سیگنال گسسته P معرفی می‌شود. بدیهی است که به منظور کدگذاری سیگنال کافی است پس از انطباق مدل Q بر سیگنال P ، مقدار P در وسط هر بیت Q بررسی شود. چنانچه این مقدار، عددی مثبت بود، بیت متناظر با آن یک و در غیر این صورت صفر است. با توجه به مباحث، پس از تجزیه بخش $Data$ به زیربخش‌هایی به طول $(10T+2)M$ (شکل ۶ را ببینید)، تابع ارزیابی الگوریتم پیشنهادی مطابق معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$J(S_k, M_k) = \sum_{n \in C_k} P(n)Q(n; S_k, M_k) \quad (1)$$

که در آن،

$$Q_k(x; S_k, M_k) = \begin{cases} H(x - S_k; a, M_k) & -0.5 \leq \varphi \leq 0.5 \text{ \& mod}([c], 10) \in \{0, 1\} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$c = \frac{(x - S_k)}{M_k}, \quad \varphi = c - 10 \times \left\lfloor \frac{c}{10} \right\rfloor - 1, \quad a = 0.7$$

$$H(x; a, M) = \begin{cases} \tanh(a(x - k_c M)) + \tanh(-a(x - k_f M)) + 1 & \text{If } k_f \text{ is odd} \\ \tanh(-a(x - k_c M)) + \tanh(a(x - k_f M)) + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$k_f = \lfloor x/M \rfloor, \quad k_c = k_f + 1$$

که در معادلات فوق، منظور از $[.]$ تابع جزء صحیح بوده، مجموعه C_k نمونه‌های زیربخش k را شامل شده و پارامترهای S و M به ترتیب بیانگر تعداد متوسط نمونه‌ها در هر بیت و طول از مبدا می‌باشند. همچنین، پارامتر a بیانگر شیب لبه‌ها در گذر از صفر بوده و Φ بیانگر محدوده بهینه‌سازی یا به عبارت دیگر دامنه تعریف تابع ارزیابی فوق می‌باشد. مجموعه Φ نقشی تعیین کننده در بازدهی الگوریتم دارد. بررسی‌ها نشان داد که چنانچه Φ تنها شامل $T+1$ بیت شروع و پایان از بخش $Data$ باشد، الگوریتم بهترین پاسخ‌های ممکن را ارائه می‌دهد. معادله (۱) در حقیقت بیانگر میزان شباهت سیگنال‌های P و Q است. برای بیشینه نمودن تابع شباهت و تعیین بهینه مقادیر پارامترهای a و M ، از روش بیشترین شیب [۱۴] استفاده شده است. بنابراین مقدار پارامترها در مرحله t الگوریتم تکراری پیشنهادی، مطابق با معادله‌های (۳) و (۴) تعیین می‌شود.

$$M_k^t = M_k^{t-1} + \eta_M \frac{\partial J}{\partial M} = M_k^{t-1} + \eta_M \sum_{n \in C_k} P(n) \frac{\partial}{\partial M} Q(n; S_k^{t-1}, M_k^{t-1}) \quad (3)$$

$$S_k^t = S_k^{t-1} + \eta_S \frac{\partial J}{\partial S} = S_k^{t-1} + \eta_S \sum_{n \in C_k} P(n) \frac{\partial}{\partial S} Q(n, S_k^{t-1}, M_k^{t-1}) \quad (4)$$

۵- الگوریتم پیشنهادی

با توجه به مطالبی که بیان شد، الگوریتم پیشنهادی که ADCID (adaptive decoder of CID) نامیده می‌شود، را می‌توان چنین خلاصه نمود:

۱. بر سیگنال CID فرآیند پیش پردازشی اعمال می‌شود، تا سیگنال P بدست آید.
۲. در سیگنال P بخش Data که بصورت یک پله طویل است شناسایی می‌شود. مطابق شکل (۶)، اولین نمونه از آخرین بیت بخش Ms، با X_0 و طول بخش Ms با L_{Ms} نشان داده می‌شود.
۳. مقدار اولیه M_0^0 از تقسیم L_{Ms} (طول بخش Data) بر ۱۸۰ (تعداد یک‌های منطقی در بخش Ms) بدست می‌آید. همچنین $S_0^0 = 1$ انتخاب می‌شود. همچنین، $k = 0$.
۴. زیربخش C_k که از نقطه X_k در سیگنال P آغاز می‌شود و دارای طولی به اندازه $(10T + 2)M_k^0$ است، استخراج می‌شود.

۵. با استفاده مقادیر اولیه M_k^0 و S_k^0 و معادلات تکراری (۳) و (۴) مقادیر نهایی M_k^{final} و S_k^{final} برای زیربخش C_k بدست می‌آید. الگوریتم تکراری تا آنجا ادامه می‌یابد که دیگر بهبود قابل توجهی در مقادیر پارامترها رخ ندهد.

۶. داده‌های کد شده در زیربخش C_k ، مطابق معادله ذیل استخراج می‌شوند:

$$d_t = \begin{cases} 0 & 0 \leq P(X_k + (t + 0.5)M_k^{final} - S_k^{final}) \\ 1 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad t = 1, 2, \dots, 10T \quad (5)$$

۷. چنانچه C_k آخرین زیربخش سیگنال P باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد.

۸. مقادیر پارامترهای X_{k+1} ، M_{k+1}^0 و S_{k+1}^0 برای زیربخش بعدی مطابق معادلات ذیل بهنگام می‌گردد:

$$X_{k+1} = X_k + 10TM_k^{final} - S_k^{final} - 1, \quad S_{k+1} = S_k^{final}, \quad M_{k+1} = M_k^{final}$$

۹. $k = k + 1$ و به مرحله ۴ مراجعه شود.

۶- شبیه‌سازی

به صورت تجربی، برای پارامترهای a ، T ، η_M و η_S مقادیر ۰/۷، ۴، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۱ بدست آمده است. برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی از یک پایگاه داده با ۵۰۰ نمونه سیگنال CID استفاده شده است. در هر یک از سیگنال‌های مذکور ۲۴ بایت اطلاعات (که بصورت تصادفی تولید شده‌اند) کدگذاری شده است. به عبارت دیگر باید از هر سیگنال ۲۴۰ بیت داده و در مجموع تعداد ۱۲۰۰۰۰ بیت داده از کل سیگنال‌ها استخراج شود. نرخ نمونه‌برداری سیگنال‌ها نیز ۸ kHz می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها بیانگر دقت ۱۰۰٪ الگوریتم پیشنهادی در کدگشایی تمام نمونه‌ها می‌باشد. برای بررسی عملکرد ADCID در برابر نویز، از ۱۰۰ سیگنال CID استفاده شده است. به این ترتیب که به هر سیگنال نویز گوسی با واریانس‌های متفاوت اضافه شده و سپس سیگنال حاصل با استفاده از ADCID کدگشایی گردیده است. از مقایسه کد حاصل با کد اصلی، بیت‌هایی که به اشتباه شناسایی شده‌اند، آشکارسازی و تعداد آنها ثبت می‌شود. در پایان از تعداد بیت‌های غلط همه سیگنال‌ها (به ازای واریانس‌های یکسان) میانگین گرفته می‌شود. بدیهی است که درصد بیت‌هایی که به غلط شناسایی شده‌اند، معیاری برای بررسی میزان حساسیت الگوریتم نسبت به نویز در

واریانس‌های مختلف است. در شکل (۷) منحنی درصد بیت‌هایی که به درستی تشخیص داده شده‌اند، برحسب نسبت سیگنال به نویز (SNR) نشان داده شده است. نسبت SNR با استفاده از معادله ذیل محاسبه گردیده است [۶].

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2/2}{\sigma^2} \right) \quad (۶)$$

که در آن A اندازه سیگنال سینوسی (که در کدگذاری CID استفاده گردیده است) و σ^2 واریانس نویز است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌کنید، الگوریتم با SNR های بیش از 16 dB توانسته است سیگنال CID را بدون خطا کدگشایی نماید. با کاهش SNR، از دقت الگوریتم نیز کاسته می‌شود. اما با وجود این، دقت الگوریتم برای نسبت سیگنال به نویز 3 dB در حدود ۹۴٪ است که دقت قابل قبولی می‌باشد.

۷- نتایج تجربی

الگوریتم پیشنهادی تحت نرم‌افزار Delphi پیاده‌سازی و بر روی یک سیستم شنود و ذخیره‌سازی بلادرنگ سیگنال تلفن نصب گردید. نمودار بلوکی این سیستم در شکل (۸) نشان داده شده است. مشاهدات تجربی نشان داد که زمان پردازش مورد نیاز برای یک سیگنال CID بر روی یک کامپیوتر شخصی Pentium IV 2000 MHz به طور متوسط ناچیز و در حدود 60 ms است. همچنین، مشاهدات انجام شده طی مدت یک ماه، بر روی بیش از ۱۲۰۰۰ سیگنال CID، نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانسته است بیش از ۹۹/۶٪ سیگنال‌ها را بدون خطا کدگشایی نماید.

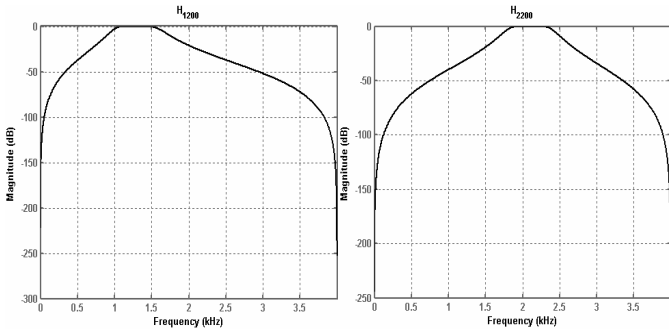
۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتمی جدید و کارآمد با نام ADCID برای کدگشایی سیگنال CID ارائه شده است. الگوریتم ADCID قادر است صرف نظر از فرکانس نمونه‌برداری (حتی در شرایطی که فرکانس نمونه‌برداری مضرری از نرخ انتقال اطلاعات نیست)، طی زمان بسیار کوتاه، و با دقت و قابلیت اطمینان بالا، سیگنال CID را کدگشایی کند. براساس شبیه‌سازی‌های انجام شده، دقت الگوریتم پیشنهادی ۱۰۰٪ است. همچنین شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که این الگوریتم از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار بوده و در برابر نویز مقاوم می‌باشد. بعلاوه، طی مشاهدات تجربی انجام شده بر روی یک سیستم ضبط و آرشیو بلادرنگ سیگنال تلفن، زمان محاسباتی متوسط ADCID ناچیز و برابر با 60 ms می‌باشد. همچنین، الگوریتم پیشنهادی توانسته است در بیش از ۹۹/۶٪ موارد، سیگنال CID را بدون خطا کدگشایی نماید. خصوصیات چون دقت و سرعت، ADCID را به ابزاری کارآمد در کاربردهای بلادرنگ مبدل نموده است.

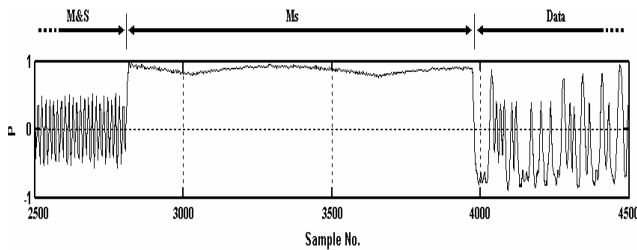
مراجع

- [1] K. W. Chin, "Type I caller ID using the HT9032," *Holtek Semiconductor Inc.*
- [2] E. Gabber, A. Wool, "On location-restricted services," *IEEE Network*, 13(6): 44 – 52, 1999.
- [3] M. M. Hasan, L. H. Jiun, N. W. Cheun, M. S. Shahid, "Smart telephone design-caller identification and answering machine," *IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE'98)*, pp. 217-222, 1998.
- [4] T. Yamada, A. Suzuki, I. Takahashi, T. Sugimura, "An information distribution/collection method based on caller ID," *International Conference on Consumer Electronics*, Digest of Technical Papers, pp. 246-247, 1996.
- [5] R. Powers, "Calling name delivery," *IEEE International Conference on Communications (ICC'92)*, 4:1908-1913, 1992.
- [6] P. Ahgren, P. Stoica, "High-resolution frequency analysis with small data record," *Electronics Letters*, 36(20): 1745 - 1747, 2000.
- [7] A. Samant, S. Shearman, "High-resolution frequency analysis with a small data record," *IEEE Spectrum*, 36:82-86, 1999.
- [8] B. Blick, "DTMF tone detector," 1996. Available: <http://www.bobblick.com/bob/stamp/tone/sch.html>
- [9] *Panasonic KX-T2395B service manual*. Matsushita Electric Industrial Co. Ltd, Japan, 1978.

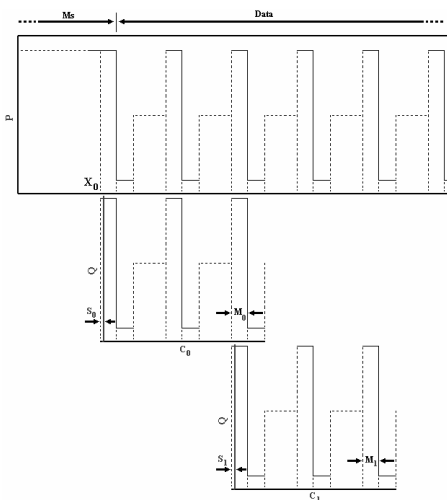
- [10] J. Makhoul, "Linear prediction: A tutorial review," *Proc. IEEE*, 63:561-580, 1975.
 [11] J. G. Proakis, *Digital Communications*. McGraw-Hill, 2001.
 [12] P. Maragos, R. W. Schafer, "Morphological systems for multidimensional signal processing," *Proceedings of the IEEE*, 78(4):690-710, 1990.
 [13] A. V. Oppenheim, R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice-Hall, 1989.
 [14] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall, 1999.



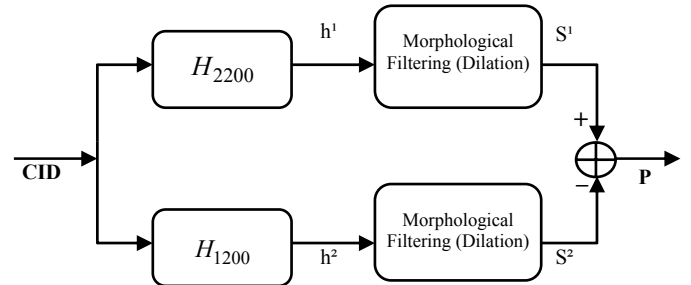
شکل ۳: پاسخ فرکانسی فیلترهای H_{1200} (چپ) و H_{2200} (راست).



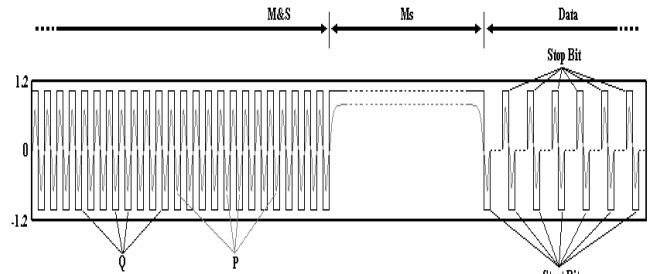
شکل ۴: نتیجه اعمال الگوریتم پیش پردازش بر یک سیگنال نمونه.



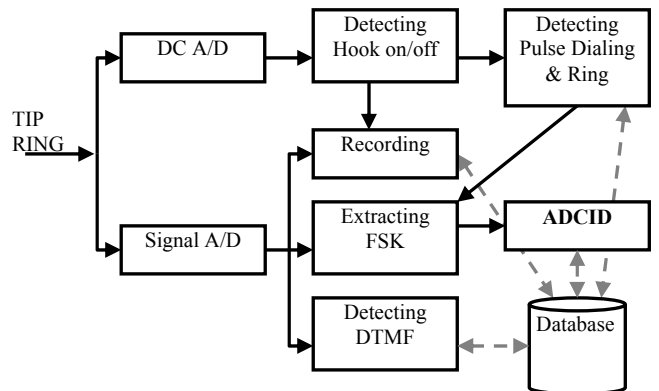
شکل ۶: فرآیند تقسیم بخش Data سیگنال P (سیگنال حاصل از پیش پردازش)، به زیربخش‌هایی شامل T+1 بیت شروع و پایان.



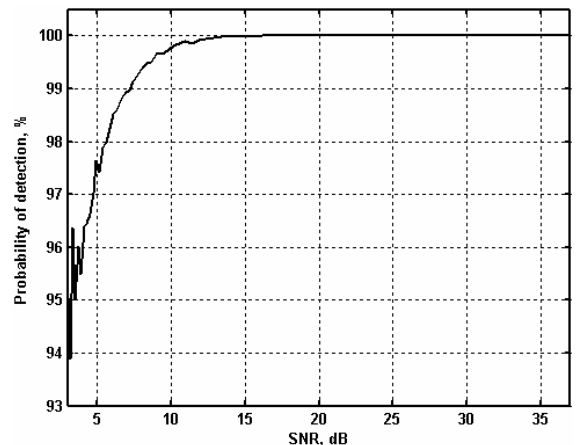
شکل ۲: نمودار بلوکی فرآیند پیش پردازش



شکل ۵: سیگنال مدل Q و سیگنال P حاصل از پیش پردازش.



شکل ۷: نمودار بلوکی سیستم شنود و ذخیره‌سازی بلادرنگ سیگنال تلفن که الگوریتم پیشنهادی بر روی پیاده‌سازی گردیده است.



شکل ۸: منحنی درصد بیت‌هایی که توسط ADCID به درستی تشخیص داده شده‌اند، برحسب نسبت سیگنال به نویز، با نویز گوسی.