

# Truyền dữ liệu qua kênh thoại GSM với CD-FSK

La Hữu Phúc, Lê Mỹ Tú

**Tóm tắt**— Kênh thoại mạng GSM sử dụng các bộ nén tiếng nói lai trên cơ sở mã dự báo tuyến tính và các kỹ thuật đặc trưng trong xử lý tiếng nói như VAD (Voice Activity Detectors), AGC (Automatic Gain Control), nên tín hiệu âm thanh thông thường không có đặc tính giống tiếng nói sẽ bị phá hủy. Bài báo này bàn luận về kênh thoại GSM và trình bày một giải pháp truyền dữ liệu đi qua kênh thoại GSM với kỹ thuật điều chế dịch khóa sai phân tần số không đổi (Constant - Differential frequency shift keying - CD-FSK).

**Abstract**— GSM Voice Channel used hybrid based on Linear Predictive Coding Codec. It also used some technical in speech processing as VAD (Voice Activity Detectors), AGC (Automatic Gain Control). As a result, audio signals that are not voice - like are greatly distorted because they violate speech signal properties assumed by the underlying codecs. In this paper, discuss about GSM voice channel and presents the approach for transmit normal data over that channel with: Constant - Differential frequency shift keying technique.

**Từ khóa**— AGC; GSM; GSMEFR; CD-FSK; VAD.

## I. MỞ ĐẦU

Mạng di động số GSM (Global System for Mobile Communications) được phát triển rộng rãi, sử dụng chức năng cơ bản là cuộc gọi thoại. Dịch vụ truyền dữ liệu được thực hiện qua kết nối CSD (Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), về kỹ thuật được cung cấp một cách thuận lợi qua nền tảng mạng GSM [1]. Tuy nhiên, trong thực tế, do yếu tố chi phí, dịch vụ truyền dữ liệu qua mạng GSM không phải lúc nào cũng sẵn có, đặc biệt là những vùng nông thôn, miền núi, khi tần suất sử dụng dịch vụ truyền dữ liệu quá thấp [2]. Bài toán đặt ra là, sử dụng khả năng truyền dữ liệu qua kênh thoại mạng GSM để

khắc phục tình trạng không sẵn có của dịch vụ truyền dữ liệu.

Bài báo này trình bày một giải pháp truyền dữ liệu qua kênh thoại GSM theo kỹ thuật điều chế dịch khóa sai phân tần số không đổi (CD-FSK), dựa trên sự bảo toàn chiều hướng lệch tần số của một cặp tín hiệu liên tiếp được truyền qua kênh thoại GSM. Những kết quả mô phỏng qua thuật toán nén tiêu chuẩn GSM EFR cho tốc độ tới 1000bps với sai số cỡ BER  $10^{-3}$ .

Bố cục của bài báo như sau: Sau Mục mở đầu, Mục II trình bày về kênh thoại GSM, Mục III trình bày giải pháp sử dụng kỹ thuật CD-FSK và kết quả thực nghiệm. Mục cuối là kết luận và hướng phát triển.

## II. KÊNH THOẠI GSM

### A. Nguyên lý cơ bản

Hình 1 mô tả đường liên kết giữa hai máy điện thoại di động A và B. Để đơn giản, chúng ta xem xét đường đi của tín hiệu tiếng nói một chiều từ máy A sang máy B. Dòng tín hiệu tiếng nói tương tự được số hóa tại máy A, sau đó được nén bởi một trong bốn thuật toán nén tiếng nói tiêu chuẩn của mạng GSM (GSM FR, GSM HF, GSM EFR và GSM AMR). Dòng dữ liệu số tín hiệu tiếng nói đã nén được truyền tới trạm gốc BTS<sub>A</sub>. Kênh dữ liệu số giữa máy điện thoại và trạm gốc được thực hiện đảm bảo cho kết nối thoại thời gian thực, không phát lại gói sai, chấp nhận mất dữ liệu. Vì vậy, những bộ nén tiếng nói trong mạng GSM nói riêng và trong truyền thông nói chung luôn được thiết kế để có khả năng chấp nhận một lượng mất mát dữ liệu nhỏ mà ít ảnh hưởng đến chất lượng âm thanh được nghe hiểu bởi tai người [3], [6]. Tại trạm gốc BTS<sub>A</sub>, tín hiệu tiếng nói được tái tạo lại (giải nén) và tùy thuộc vào khả năng của liên kết mạng sẽ được định dạng để gửi lên mạng.



Hình 1. Đường liên kết dữ liệu đơn giản giữa hai máy điện thoại di động

Thông thường dữ liệu trên đường liên kết GSM được định dạng theo G.711 PCM 64kbps A-law hoặc  $\mu$ -law. Khi dữ liệu truyền đến trạm cơ sở BTS<sub>B</sub>, tín hiệu tiếng nói lại được nén theo một bộ nén tiếng nói GSM hợp lý và được truyền đến máy điện thoại B. Tại máy điện thoại B, tín hiệu tiếng nói được tái tạo lại (giải nén) và đưa ra loa. Trong mạng GSM, bộ nén tiếng nói sử dụng trong máy A (BTS<sub>A</sub>) và máy B (BTS<sub>B</sub>) có thể khác nhau.

#### B. Những tác động tới dữ liệu không dự báo trước

Với đường đi của tín hiệu tiếng nói qua cuộc gọi thoại của mạng GSM được trình bày trong Mục II.A, chúng ta sẽ khảo sát những tác động, nguyên nhân làm ảnh hưởng đến dữ liệu khi truyền qua kênh thoại theo những kỹ thuật xử lý trên kênh thoại, mà không xem xét những tác động khác thuộc về truyền thông trong mạng GSM.

#### 1. Mất mát tín hiệu do băng tần hẹp

Kênh thoại mạng GSM được thiết kế để truyền tín hiệu tiếng nói của con người với băng tần hẹp 300-3400Hz. Tín hiệu nghe hiểu được qua bộ lọc thông dải tại đầu vào của máy điện thoại và có thể ở các giai đoạn trung gian, trong đó những thành phần tần số nằm ngoài băng tần bị loại bỏ. Bộ lọc này làm mất mát một phần dòng tín hiệu nghe hiểu được truyền. Hơn nữa, kênh với băng tần 3KHz là quá hẹp, dẫn đến bị hạn chế tốc độ.

#### 2. Mất mát tín hiệu do bộ mã tiếng nói

Sự mất mát tín hiệu do những bộ mã tiếng nói là thách thức lớn nhất đối với điều chế dữ liệu. Bộ mã tiếng nói số hóa tín hiệu tiếng nói ở đầu phát và tái tạo lại tại đầu thu. Những bộ mã sử dụng trong GSM khai thác triệt để những thuộc tính vốn có trong tín hiệu tiếng nói để thu được hiệu suất nén cao, trong khi vẫn giữ lại chất lượng tiếng nói nghe hiểu theo kinh nghiệm của người nghe. Điều đó dẫn đến tín hiệu không giống tiếng nói bị phá hỏng nặng nề, bởi chúng vi phạm thuộc tính của tiếng nói đã được các bộ mã mặc định [2]. Những bộ mã này xử lý trên cơ sở kỹ thuật nghe hiểu âm thanh cảm quan, mô hình hóa tiếng nói đầu vào và chỉ những đặc tính liên quan đến tiếng nói con người được truyền đi. Bộ mã mặc định rằng, dạng sóng tiếng nói chỉ có những thay đổi chậm theo thời gian và thực tế, tiếng nói có thể được mô hình hóa giống như những sóng có chu kỳ với một tần số cơ sở có xen kẽ những khoảng lặng và âm bật [3]. Những bộ mã tiếng nói trong mạng GSM xây dựng trên cơ sở mô hình toàn cục và chúng được thiết lập trong mã LPC. LPC ước lượng những thay đổi của tham số tiếng nói và biểu diễn chúng dưới dạng số. Trên cơ sở mô hình tiếng nói LPC xấp xỉ mẫu tiếng nói đầu vào bằng cách tuyến tính

một số ít mẫu tiếng nói trước đó [1]. Đặc tính có nhớ này dẫn đến dạng sóng đầu ra có sự khác biệt với dạng sóng đầu vào và sự khác này tai người có thể nhận ra được. Những tín hiệu âm thanh có thay đổi nhanh theo thời gian thì không phù hợp với mô hình tiếng nói trên cơ sở LPC và do vậy rất dễ bị phá hủy.

#### 3. Mạch tự động điều chỉnh khuếch đại AGC

Để đảm bảo âm lượng tiếng nói trong cuộc đàm thoại, mạng GSM sử dụng bộ AGC (Automatic Gain Control). Với mức trung bình tín hiệu đầu ra trong vòng phản hồi kín để điều khiển độ lớn biên độ đầu ra. Điều này dẫn đến biên độ của tín hiệu ra có thể khác so với tín hiệu vào.

#### 4. Kỹ thuật VAD

Thông thường, xen lẫn tín hiệu tiếng nói là những khoảng lặng. VAD (Voice Activity Detectors) phát hiện tiếng nói có trong dòng tín hiệu nghe hiểu và loại bỏ những khoảng lặng để tiết kiệm băng thông và năng lượng, như vậy, việc truyền dữ liệu có thể bị bỏ qua nếu đó là khoảng lặng. VAD phát hiện tiếng nói con người qua khai thác đặc tính tiếng nói là những xung (pulse) theo thời gian, trong khi nhiều nền không có đặc tính này. Do vậy, khi biên độ tín hiệu vào không có tính xung, thì có thể bị loại bỏ bởi bộ lọc VAD.

#### 5. Hoạt động tự thích nghi của những bộ nén

Những bộ mã này thực hiện theo những thuật toán đã biết, theo một mô hình rõ ràng và bù phần mất mát xuất hiện do bộ mã gây ra trong quá trình điều chế dữ liệu. Câu hỏi được đặt ra là: từ một tín hiệu nghe cho trước, chúng ta có thể mô hình hóa và dự báo những mất mát do bộ nén tiếng nói gây ra hay không. Rất không may, giải pháp này không thực hiện được vì nhiều bộ nén thay đổi tham số hoạt động của nó và cơ chế trong khi đang hoạt động. Xem xét AMR GSM có nhiều chế độ hoạt động và nó sẽ lựa chọn chế độ hoạt động tốt nhất theo chất lượng đường truyền vô tuyến và năng lực đòi hỏi [4]. Khi đường truyền liên kết vô tuyến là xấu, nó giảm mã nguồn và gia tăng mã kênh để gửi đi tín hiệu tiếng nói chất lượng thấp qua liên kết không dây. Những nhà cung cấp có thể gia tăng số cuộc gọi thông qua dùng trạm cơ sở để buộc máy điện thoại sử dụng chế độ nén với tốc độ bit thấp. Vì bộ mã có thể thay đổi chế độ khi đang hoạt động và mỗi chế độ có những đặc tính riêng biệt, nên để dự báo chính xác những hư hỏng mà bộ mã gây ra là không thể với một tín hiệu nghe cho trước.

#### 6. Liên kết mạng không đồng nhất

Đường đi của tín hiệu thoại trải qua nhiều giai đoạn từ đầu cuối đến đầu cuối. Mỗi liên kết trung

gian có thể chuyển đổi mã tín hiệu tiếng nói theo năng lực và băng thông cho phép, nên gây ra những mất mát. Ví dụ, tín hiệu có thể chuyển đổi sang chế độ tốc độ bit thấp khi chuyển qua vệ tinh. Những chuyển đổi này có thể xảy ra ở bất kỳ giai đoạn nào và gây ra những mất mát đối với tín hiệu. Hơn nữa, ở mỗi thiết bị đầu cuối có thể sử dụng những thuật toán nén tiếng nói khác nhau và cũng có thể tạo ra những mất mát trong kênh thoại không dự báo được.

### III. GIẢI PHÁP SỬ DỤNG KỸ THUẬT CD-FSK

#### A. Yêu cầu của tín hiệu sau khi điều chế

Để có thể chống lại được những tác động đã phân tích ở Mục I.B, dữ liệu, tín hiệu âm thanh cần phải có những đặc tính giống tiếng nói, hay những ký tự biểu diễn thông tin sau khi điều chế cần thỏa mãn [7]:

- Dạng sóng tạo ra phải đi qua bộ lọc thông dải [300Hz-3400Hz], đó là băng tần phù hợp để tai người có thể hiểu được tín hiệu tiếng nói.
- Tiếng nói con người có một tần số cơ sở trong một khoảng thời gian tương đối dài. Khi ký tự tùy ý (hình sin) được nối với nhau và truyền qua không gian, dòng âm thanh kết quả cũng phải có một tần số cơ sở cố định.
- Một cặp ký tự phải không xa nhau quá, ngược lại, những bộ mã tiếng nói sẽ gây ra nhiều mất mát do vi phạm giả thiết tiếng nói thay đổi chậm. Ngược lại, cặp ký tự cũng không được gần nhau quá, bởi chúng sẽ không có đủ tính đàn hồi để chống lại nhiễu của kênh. Nói chung, khoảng cách giữa các điểm của các cặp ký tự bất kỳ cần có cả giới hạn trên và giới hạn dưới.
- Do AGC, những thành phần tần số khác nhau có thể được khuếch đại (hoặc làm giảm bớt) với những lượng khác nhau trong những giai đoạn liên kết trung gian trong liên mạng, nên không thể chỉ tin cậy ở việc biên độ của dạng sóng đầu ra giống với tín hiệu đầu vào. Hơn nữa, dạng sóng được tạo ra phải thể hiện tính giống tiếng nói là có nhịp (pulsing), nếu không, nó có thể bị lọc bởi VAD.

#### B. Giải pháp

##### 1. Thuật toán điều chế

Thuật toán dựa trên sự thay đổi thành phần tần số, nó là sự cải tiến của điều chế FSK. Thuật toán được phát biểu [7]:

1. Cho trước  $f_{base}$ , độ lệch tần số  $\delta$
2.  $f=f_{base}$ ;
3. for còn bit  $b$  để điều chế
4.     if  $b=0$  then  
               $f=f-\delta$  ;
5.     else  
               $f=f+\delta$  ;
6.     end if  
(phát những tín hiệu hình sin có tần số  $f$ );
7. end for.

Ý tưởng cơ bản của thuật toán là với một tần số  $f$  được khởi tạo là  $f_{base}$ , nếu đầu vào là 0 hay 1, chúng ta giảm hoặc tăng  $f$  với một lượng cố định là  $\delta$  và truyền đi một hình sin có tần số  $f$ . Điều chế này có tất cả những chuyển đổi được giới hạn là  $\delta$  nên tránh được tình trạng nhảy quá xa (thay đổi nhanh) của tín hiệu ra. Do mỗi sự chuyển đổi độ lệch tần số của tín hiệu liên tiếp nhau là không đổi, nên điều chế này có thể được gọi là kỹ thuật điều chế dịch khóa sai phân tần số không đổi.

Để tránh VAD, dòng tín hiệu phải có tính “xung” (pulse) trong một khoảng thời gian tương đối dài. Để giải quyết vấn đề này, mỗi chiều dài tín hiệu 1s được chia làm hai phần bằng nhau, mỗi phần 0,5s và phần đầu không thay đổi, phần thứ hai được giảm biên độ xuống với hệ số 0,7. Hệ số này đảm bảo biên độ của tín hiệu âm thanh không xuống quá thấp, nên tránh được hiện tượng AGC.

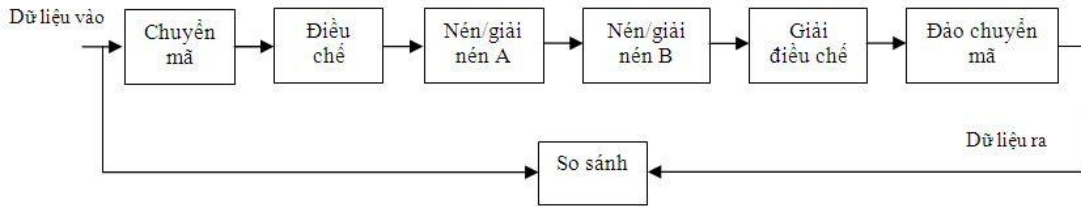
Nếu chuỗi 0 hoặc chuỗi 1 quá dài, có thể đưa tần số  $f$  vượt qua giới hạn cho phép (300-3400Hz). Hơn nữa, nếu tần số của tín hiệu hình sin được truyền thay đổi không nhiều, nó có thể đảm bảo tần số cơ sở của tín hiệu kết quả được giữ cố định. Nếu có một chuỗi 0 quá dài, tần số của hình sin được phát sẽ thấp và như vậy, số hình sin được phát trong một đơn vị thời gian sẽ giảm, hay tốc độ sẽ giảm. Hơn nữa, đáp ứng tần số của kênh là khác nhau với những dải tần số khác nhau; chuỗi đầu vào bộ điều chế hoạt động trong chế độ cường bức để kênh có đáp ứng tốt. Để hạn chế những điểm yếu này, cần phải chuyển mã chuỗi đầu vào trước khi cung cấp cho bộ điều chế.

##### 2. Thuật toán chuyển mã

Chuyển mã sử dụng thuật toán đơn giản. Nó là mã 1/2, với 1 bit nhận được ở đầu vào tạo ra 2 bit với:

Nếu bit vào là 0 đầu ra là 01:0→01;

Nếu bit vào là 1 đầu ra là 10:1→10.



Hình 2. Mô hình thực hiện mô phỏng

Ở thuật toán này, với mọi chuỗi đầu vào, chuỗi chuyển mã luôn luôn có số bit 1 và bit 0 bằng nhau. Đặc biệt, bất kỳ chuỗi bit có độ dài chẵn nào  $\geq 4$  sẽ có số bit 1 và bit 0 bằng nhau. Hơn nữa, có thể nhận thấy rằng, số lượng bit 0 và 1 liên nhau nhiều nhất chỉ là hai. Như vậy, tín hiệu âm thanh ở đầu ra của bộ điều chế có một tần số cơ sở là  $f_{base}$ , làm cho chúng có vẻ giống tiếng nói hơn. Trong thực tế, chỉ có ba tần số được sử dụng là  $f_{base}$ ,  $f_{base} \pm \delta$ .

### 3. Thuật toán giải điều chế

Thuật toán giải điều chế chuyển đổi những tín hiệu âm thanh ngược lại thành chuỗi bit. Thuật toán được thực hiện như sau:

1. Cho tín hiệu âm thanh nhận được,
2. for (với mỗi hình sin trong tín hiệu đầu vào)
  - $f_{curr}$  = tần số của hình sin hiện tại
  - $f_{prev}$  = tần số của hình sin trước đó.
3. If  $f_{curr} \leq f_{prev}$  then
  - output 0
4. Else
  - output 1
5. End if
6. End for

Thuật toán giải điều chế trên cơ sở độ lệch tần số cùng chiều của tín hiệu ra với tín hiệu vào. Bất kỳ bộ nén có nhớ nào đều ảnh hưởng rất lớn tới mẫu đầu vào hiện tại và tính tuyến tính giảm sẽ ảnh hưởng tới những mẫu trước đó, do đặc tính mã LPC. Với  $x_0, x_1, \dots, x_k$  là những mẫu phụ thuộc của k mẫu đầu vào trước đó, những mẫu đầu ra tương ứng là  $s_0, s_1, \dots, s_k$ . Để không làm mất tính tổng quát, chúng ta giả thiết rằng những bộ mã có nhớ sử dụng ảnh hưởng trung bình của ký tự hiện hành theo n ký tự trước đó. Do vậy, khi đầu vào là ký tự  $x_k$  được truyền như là ký tự đầu ra  $s_k$ , bộ nén tiếng nói sử dụng ảnh hưởng trung bình của  $x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-n}$ , theo chiều hướng giảm dần thứ tự của sự ảnh hưởng. Khi bộ mã nhận ký tự  $x_{k+1}$  nó sẽ sử dụng ảnh hưởng trung bình của  $x_{k+1}, x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-n+1}$  một lần nữa theo chiều giảm dần của ảnh hưởng,

có thể xấp xỉ bằng ảnh hưởng trung bình của  $x_{k+1}, s_k$ . Điều này dẫn đến ký tự ra mới có độ lệch cùng chiều (so với đầu ra trước đó) với quan hệ của ký tự đầu vào (so với đầu vào trước đó). Như vậy, khi tín hiệu cuối truyền qua không gian có tần số đầu vào  $f_i$ , và hình sin đầu ra tương ứng (qua quá trình nén, giải nén) có tần số  $f_o$ . Hình sin tần số  $f_o$  này được tạo ra bởi bộ nén tiếng nói bằng cách đưa vào tính toán hình sin đầu vào tần số  $f_i$  và một số những mẫu trước hình sin tần số  $f_i$ . Giả thiết rằng tín hiệu hình sin đầu vào tiếp theo là  $f_{i+\alpha}$ , nếu:  $\alpha \geq 0$  thì tần số đầu ra sẽ lớn hơn  $f_o$  và ngược lại, nếu  $\alpha < 0$  thì tần số đầu ra là nhỏ hơn  $f_o$ .

### C. Kết quả thực mô phỏng

Mô phỏng được thực hiện theo mô hình ở Hình 2 trên Matlab 7.04. Trong mô hình này, tín hiệu âm thanh sau khi điều chế được cho đi qua 2 cặp nén/giải nén tiếng nói từ máy A đến máy B như mô hình ở Hình 1.

Kết quả mô phỏng với  $f_{base}$ ,  $\delta$  khác nhau với các cặp nén/giải nén A và B là chuẩn nén tiếng nói trong GSM EFR [3] với tốc độ (độ dài hình sin của mỗi bit) khác nhau được thể hiện ở Bảng 1.

BẢNG 1. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VỚI CÁC TẦN SỐ KHÁC NHAU

$f_{base}$ (Hz)	$\delta$ (Hz)	Tốc độ (bps)	Tỷ lệ lỗi bit (BER)	$\delta$ (Hz)	Tốc độ (bps)	Tỷ lệ lỗi bit (BER)
2400	400	900	$2.10^{-2}$	200	1000	$3.10^{-1}$
		620	$5.10^{-3}$		720	$7.10^{-2}$
		470	$8.10^{-4}$		530	$3.10^{-4}$
		380	$4.10^{-4}$		380	$9.10^{-4}$
2800	400	1400	$8.10^{-2}$	200	1400	$3.10^{-1}$
		850	$9.10^{-3}$		850	$8.10^{-2}$
		700	$3.10^{-3}$		700	$8.10^{-3}$
		550	$1,6.10^{-3}$		550	$6.10^{-4}$
2000	400	1300	$7.10^{-2}$	200	1600	$3.10^{-1}$
		650	$1.10^{-2}$		900	$1.10^{-1}$
		500	$4.10^{-3}$		570	$2.10^{-3}$
		400	$2.10^{-3}$		350	$3.10^{-4}$
1600	400	1100	$1,4.10^{-2}$	200	1300	$15.10^{-1}$
		550	$4.10^{-3}$		670	$8.10^{-3}$
		380	$8.10^{-4}$		450	$6.10^{-4}$
		300	$4.10^{-4}$		350	$10^{-5}$

Từ Bảng 1, với tần số  $f_{base}$  trong khoảng [2000Hz-3000Hz] độ lệch tần số  $\delta$  cỡ [200Hz-400Hz] việc thực hiện truyền dữ liệu tốc độ thấp qua kênh thoại GSM với thuật toán nén GSM EFR cho tốc độ lên đến 1200bps với sai số lớn; ở tốc độ 800bps có thể cho độ tin cậy cao với tỷ lệ lỗi bit BER cỡ  $10^{-3}$ ; ở tốc độ thấp cỡ 400bps có thể cho BER tới  $10^{-4}$ . Tham số tốt nhất nên lựa chọn là  $f_{base}=2400\text{Hz}$  và  $\delta =400\text{Hz}$ .

#### IV. KẾT LUẬN

Những kết quả mô phỏng bằng Matlab trên đây, chưa áp dụng các kỹ thuật sửa sai, nhưng cũng có thể khẳng định kỹ thuật điều chế dịch khóa sai phân tần số không đổi là có khả năng truyền dữ liệu tốc độ thấp qua kênh thoại GSM với sai số đạt cỡ  $10^{-3}$ , với thuật toán nén tiếng nói GSM EFR.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Friedhelm Hillebrand (2002), "GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication", by John Wiley & Sons, Ltd; ISBN 0-4708-4322-5.
- [2].La Hữu Phúc, "Truyền dữ liệu qua kênh thoại GSM bằng tiếng nói tổng hợp", Tạp chí nghiên cứu KHKT&CNQS, số 9,10-2010, Tr 62-68.
- [3]. A. Kondo (2004), "Digital Speech: Coding for Low bit rate Communications System", John Wiley & Sond Ltd, Second Editor ISBN: 0 470 87008 7.
- [4]. ETSI. "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM)"; "ANSIC code for the GSM Enhanced Full Rate (EFR) speech codec" (GSM 06.53 version 8.0.1 Release 1999), ETSI EN 300 724, November 2000.
- [5]. N.N. Katugampala, K.T. Al-Naimi, S. Villette, and A.M. Kondo (2004), "Real time data transmission over gsm voice channel for secure voice & data applications" In 2nd IEE Secure Mobile Communications Forum (2004).
- [6]. Peter Vary, Rainer Martin (2006), "Digital Speech Transmission: Enhancement, Coding and Error Concealment", John Wiley & Sond Ltd, ISBN: 0 471 56018 9.
- [7]. "Hermer: Data Transmission over Unknown Voice Channels". <https://cs.nyu.edu/~jchen/publications/com31a-dhananjay.pdf>.

#### SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

##### **PGS. TS. Lê Mỹ Tú**

Đơn vị công tác: Học viện Kỹ thuật Mật mã, Ban Cơ yếu Chính phủ, Hà Nội.

Email: tulemy@hotmail.com

Tốt nghiệp chuyên ngành Công nghệ thông tin, Khoa Điện tử, Đại học Bách khoa Gdansk, Ba Lan năm 1975. Nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Điện tử - Viễn



thông, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Ba Lan năm 1989. Được phong hàm Phó Giáo sư năm 1996.

##### **TS. La Hữu Phúc**

Đơn vị công tác: Viện Khoa học - Công nghệ Mật mã, Ban Cơ yếu Chính phủ, Hà Nội.

E-mail: phucpvkt@hotmail.com

Tốt nghiệp đại học năm 1998 và Thạc sĩ năm 2004 chuyên ngành Kỹ thuật Mật mã - Học viện Kỹ thuật Mật mã. Nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện tử, Viện Khoa học - Công nghệ quân sự năm 2015.



Hướng nghiên cứu hiện nay: Kỹ thuật Mật mã.

