

XÂY DỰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG KÊNH VÔ TUYẾN DI ĐỘNG PHẠĐINH

NGUYỄN PHẠM ANH DŨNG

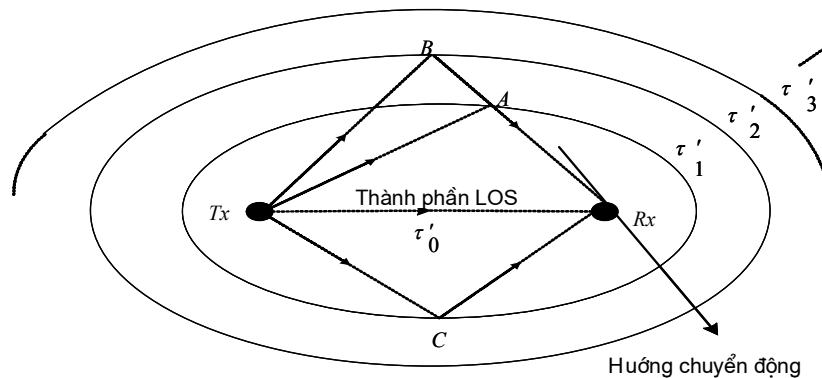
Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Abstract. In order to test components of radio transmission paths in mobile telecommunications we need construct a simulation chain. Fading mobile radio channel is the most complicated and important component of the simulation chain. Fading mobile radio channel simulation model may be built in hardware or software. This paper presents buiding fading mobile radio chanel simulation model in software.

Tóm tắt. Để kiểm tra các thành phần của đường truyền dẫn vô tuyến trong thông tin di động, ta cần xây dựng chuỗi mô phỏng. Kênh vô tuyến di động phạđinh là phần tử quan trọng và phức tạp nhất của chuỗi mô phỏng. Mô hình mô phỏng kênh vô tuyến di động phạđinh có thể được xây dựng bằng phần cứng hoặc phần mềm. Bài báo đi xây dựng mô hình mô phỏng kênh vô tuyến di động phạđinh bằng phần mềm.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

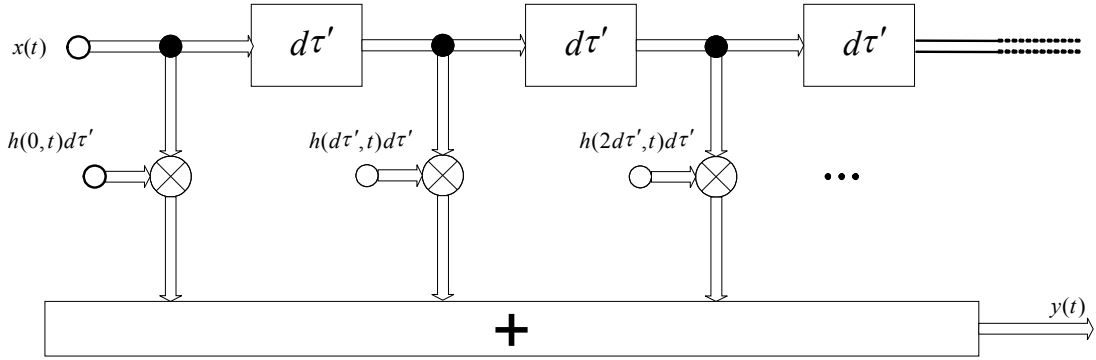
Kênh vô tuyến di động chịu hai tác động lớn: phạđinh nhiều đường và hiệu ứng Doppler. Kênh này được mô tả bằng mô hình nhiều elip như trên hình 1 [4]. Trên hình vẽ các elip đều đồng tiêu điểm và máy phát (Tx), máy thu (Rx) được đặt tại hai tiêu này. Mỗi elip (và vùng gần nó) tạo nên các đường truyền sóng có thời gian trễ như nhau (trễ truyền sóng giữa các đường truyền này bằng không hay không đáng kể) và góc tới khác nhau (tần số Dopler thay đổi). Mỗi sóng trong vùng tán xạ được đặc trưng bởi hình elip thứ l chịu cùng một trễ truyền sóng:



Hình 1. Mô hình nhiều elip để trình bày hình học các đường truyền theo Parsons và Bajwa [4]

$$\tau'_\ell = \tau'_0 + \ell\Delta\tau', \quad \ell = 0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

Môi trường truyền sóng vô tuyến được thể hiện chỉ bằng một elip được gọi là kênh vô tuyến phẳng di động không chọn lọc tần số. Còn môi trường truyền sóng được thể hiện bằng nhiều elip được gọi là kênh vô tuyến phẳng di động chọn lọc tần số. Trường hợp thứ hai là tổng quát và thường gặp trong thông tin di động, ta sẽ xét đến trường hợp này. Đối với trường hợp hai, mô hình kênh vô tuyến phẳng di động được trình bày ở dạng đường trễ rẽ nhánh (hình 2).



Hình 2. Trình bày đường trễ rẽ nhánh của một kênh chọn lọc tần số và phụ thuộc thời gian trong băng tần phức tương đương

Quan hệ giữa tín hiệu đầu ra kênh $y(t)$ và đầu vào kênh $x(t)$ khi $d\tau' \rightarrow 0$ được thể hiện như sau:

$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(t_0)h(t_0, t)dt_0, \quad (1)$$

trong đó $x(t_0)$ là giá trị tín hiệu đầu vào tại thời điểm t_0 , t là thời điểm quan trắc tín hiệu đầu ra, $h(t_0, t)$ là đáp ứng kênh lên giá trị tín hiệu đầu vào tại t_0 tại thời điểm quan trắc t (do quan hệ nhân quả nên $t > t_0$).

Đối với một đường trễ có L đường hữu hạn ta có thể biểu diễn qua hệ vào ra như sau:

$$y(t) = \sum_{\ell=0}^{L-1} a_\ell \mu_\ell(t) \delta(\tau' - \tau'_\ell) x(t - \tau'_\ell) = \sum_{\ell=0}^{L-1} a_\ell \mu_\ell(t) x(t - \tilde{\tau}'_\ell) \quad (2)$$

trong đó, a_ℓ là công suất của nhánh ℓ , $\mu_\ell(t)$ là quá trình Gauss ngẫu nhiên phức đặc trưng cho hưởng ứng của kênh lên nhánh ℓ và

$$\tilde{h}(\tau', t) = \sum_{\ell=0}^{L-1} \tilde{a}_\ell \mu_\ell(t) \delta(\tau' - \tau'_\ell) \quad (3)$$

là đáp ứng kênh.

2. MÔ HÌNH WSSUS VÀ DGUS

Để mô hình hóa các kênh vô tuyến di động phẳng chọn lọc tần số ta có thể sử dụng các mô hình ngẫu nhiên và tất định. Mô hình thứ nhất được gọi là WSSUS (Wide Sense

Stationary Uncorrelated Scattering: tán xạ không tương quan dừng nghiã rộng).. Mô hình thứ hai được gọi là DGUS (Deterministic Gaussian Uncorrected Scattering= tán xạ không tương quan Gauss tất định). Đối với các mô hình này ta có thể trình bày hàm các tự tương quan như sau [1, 2]:

$$r_{hh}(\tau'_1, \tau'_2; t, t + \tau) = \delta(\tau'_2 - \tau'_1) S_{hh}(\tau'_1, \tau) \quad (4a)$$

$$r_{TT}(f', f' + v'; f_1, f_2) = \delta(f_2 - f_1) S_{TT}(v', f_1) \quad (4b)$$

$$r_{ss}(\tau'_1, \tau'_2; f_1, f_2) = \delta(f_2 - f_1) \delta(\tau'_2 - \tau'_1) S(\tau'_1, f_1) \quad (4c)$$

$$r_{HH}(f', f' + v'; t, t + \tau) = r_{HH}(v', \tau) \quad (4d)$$

trong đó, $\tau' = t - t_0$, f'_i và f_i là tần số nhận được từ biến đổi Fourier của đáp ứng kênh $h(\tau', t)$ theo τ' và t , $v' = f'_2 - f'_1$, $S_{hh}(\tau'_1, \tau)$ là hàm mật độ phổ công suất chéo trễ, $S_{TT}(v', f_1)$ là hàm mật độ phổ công suất chéo Doppler, $S(\tau'_1; f_1)$ là hàm tán xạ, $r_{HH}(v', \tau)$ là hàm tương quan tần số-thời gian, h ký hiệu cho đáp ứng xung kim phụ thuộc thời gian $h(\tau', t)$, H ký hiệu cho hàm truyền đạt phụ thuộc thời gian $H(f', t)$, s ký hiệu cho hàm đáp ứng xung kim phụ thuộc Doppler $s(\tau', f)$ và T ký hiệu cho hàm truyền đạt phụ thuộc Doppler $T(f', f)$.

Các hàm $S_{hh}(\tau'_1, \tau)$, $S_{TT}(v', f_1)$, $S(\tau'_1; f_1)$, $r_{HH}(v', \tau)$ và bốn hàm sau:

Hàm mật độ phổ công suất trễ

$$S_{\tau'\tau'}(\tau') = S_{hh}(\tau', \tau) \Big|_{\tau=0}, \quad (5a)$$

hàm mật độ phổ công suất Doppler

$$S_{\mu\mu}(f) = S_{TT}(v', f) \Big|_{v'=0}, \quad (5b)$$

hàm tương quan tần số

$$r_{\tau'\tau'}(v') = r_{HH}(v', \tau) \Big|_{\tau=0}, \quad (5c)$$

hàm tương quan thời gian

$$r_{\mu\mu}(\tau) = r_{HH}(v', \tau) \Big|_{v'=0} \quad (5d)$$

là các hàm hệ thống để đặc tả mô hình. Các hàm này liên hệ với nhau từng đôi một qua biến đổi Fourier.

Hàm mật độ phổ công suất trễ xác định công suất trung bình của các thành phần tán xạ phụ thuộc vào τ' , còn hàm mật độ phổ công suất Doppler xác định công suất trung bình của các thành phần tán xạ phụ thuộc vào tần số Doppler. Đây là hai hàm thường được đo trong thực tế để xây dựng mô hình kênh [5]. Trong [5] các kênh này được xét cho bốn loại vùng có đặc điểm truyền sóng khác nhau: vùng nông thôn (RA: Rural Area), vùng thành phố điển hình (TU: Typical Urban), vùng thành phố xấu (BU: Bad Urban) và vùng địa hình đồi núi (HT: Hilly Terrian). Mỗi vùng này được đặc tả bằng kiểu mật độ phổ công suất Doppler $S_{\tau'\tau'}(f)$: “Jakes”, “Gauss I”, “Gauss II”, “Rice”. Ngoài ra [5] cũng đặc tả các thông số cho các đường trễ rẽ nhánh mô phỏng kênh như: số nhánh rẽ (L), công suất của mỗi nhánh (a_ℓ), thời gian trễ mỗi nhánh (τ_ℓ) và kiểu hàm mật độ phổ công suất cho từng nhánh ($S_{\tau'\tau'}(f)$).

Đối với DGUS, quá trình Gauss ngẫu nhiên phức trong (2) được thay bằng quá trình Gauss tất định phức với thành phần thực và ảo như sau [1, 2]:

$$\tilde{\mu}_{i,\ell}(t) = \sum_{n=1}^{N_{i,\ell}} c_{i,n,\ell} \cos(2\pi f_{i,n,\ell} t + \theta_{i,n,\ell}), \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

$$f_{i,n,\ell} \neq f_{i,m\lambda} \text{ khi } \ell \neq \lambda, \quad (7)$$

trong đó i chỉ số biểu thị phần thực ($i = 1$) và phần ảo ($i = 2$), $c_{i,n,\ell}$, $f_{i,n,\ell}$ và $\theta_{i,n,\ell}$ là các hệ số, tần số và pha rời rạc, $N_{i,\ell}$ là số lượng các hàm điều hoà của phần thực hoặc phần ảo thuộc nhánh ℓ .

Đối với các hàm mật độ phổ công suất Gauss dịch tần trong [5] ta có thể xác định quá trình Gauss tất định phức như sau:

$$\tilde{\mu}_\ell(t) = \sum_{i=1}^2 \tilde{v}_{i,\ell}(t) \cos(2\pi f_{i,0,\ell}t) - j \sum_{i=1}^2 \tilde{v}_{i,\ell}(t) \sin(2\pi f_{i,0,\ell}t) \quad (8)$$

trong đó

$$\tilde{v}_{i,\ell}(t) = \sum_{n=1}^{N_{i,\ell}} c_{i,n,\ell} (2\pi f_{i,n,\ell}t + \theta_{i,n,\ell}) \quad (9)$$

$f_{i,0,\ell}$ là dịch tần xác định từ [5].

Công suất nhánh trong trường hợp này được xác định như sau:

$$\tilde{a}_\ell = \sqrt{\int_{\tau' \in I_\ell} S_{\tau'\tau'}(\tau') d\tau'}, \quad \ell = 0, 1 \dots L-1 \quad (10)$$

trong đó

$$I_\ell = \begin{cases} [0, d\tau'/2) \text{ cho } \ell = 0 \\ [\tau'_\ell - d\tau'/2, \tau'_\ell + d\tau'/2) \text{ cho } \ell = 1, 2 \dots L-2 \\ [\tau'_\ell - d\tau'/2, \tau'_{\max}] \text{ cho } \ell = L-1 \end{cases} \quad (11)$$

$$\tau'_{\max} = d\tau'(L-1) \quad (12)$$

3. XÂY DỰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG KÊNH

Từ các công thức cho mô hình đường trễ rẽ nhánh ở trên, ta có thể thực hiện chương trình mô phỏng kênh bằng Matlab. Giải thuật viết chương trình mô phỏng như sau.

Chọn khoảng thời gian lấy mẫu cho trễ nhánh τ'_ℓ như sau:

$$T'_s = \text{gcd}\{\tau'_\ell\}_{\ell=1}^{L-1} \quad (13)$$

Vì thế:

$$\tau'_\ell = (q_\ell - 1)T'_s \quad (14)$$

trong đó q_ℓ là một số nguyên dương hoặc bằng không.

T'_s cũng là thời gian lấy mẫu cho tín hiệu đầu vào $x(t)$ và tín hiệu đầu ra $y(t)$. Như vậy các tín hiệu này được rời rạc hóa ở dạng $x(kT'_s)$ và $y(kT'_s)$.

Thời gian lấy mẫu cho các hàm điều hoà trong (8) được chọn như sau:

$$T_s = m'_s T'_s \quad (15)$$

trong đó m'_s là số nguyên dương và được gọi là tỷ lệ tốc độ lấy mẫu. Vì thế:

$$t = kT_s = km'_s T'_s \quad (16)$$

Chọn một trong các phương pháp sau để tính các hệ số, tần số và pha rời rạc $c_{i,n,\ell}$, $f_{i,n,\ell}$ và $\theta_{i,n,\ell}$ cho từng trường hợp mật độ phổ công suất của từng nhánh: phương pháp đồng khoảng cách (MED), phương pháp sai số bình phương trung bình (MSEM), phương pháp đồng diện tích (MEA), phương pháp Monte Carlo (MCM), phương pháp chuẩn Lp (LPNM) và phương pháp trải rộng Doppler chính xác (MEDS) [1,2].

Tín hiệu được lấy mẫu ở đầu ra của kênh mô phỏng được xác định như sau:

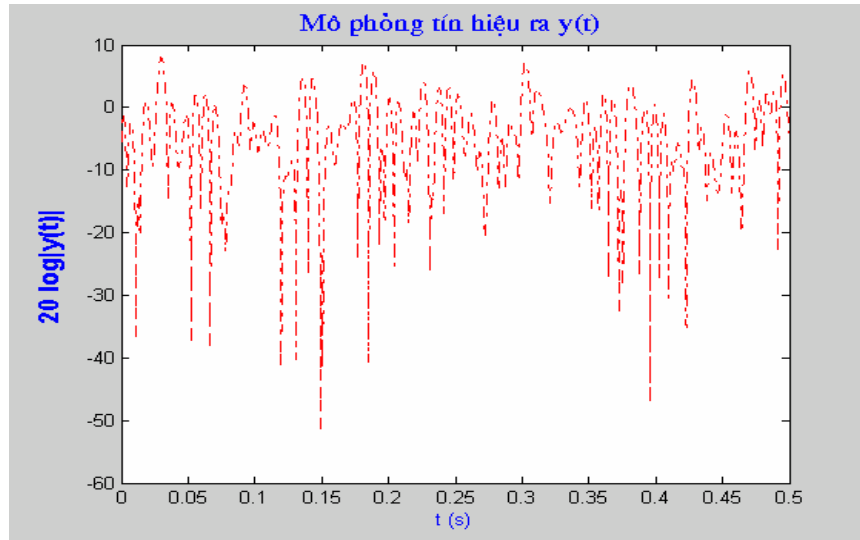
$$y(kT'_s) = \sum_{\ell=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{\frac{T_{sim}}{m'_s T'_s} - m'_s} \left\{ [a_{\ell} \mu_{\ell}(km'_s T'_s + t_0) + \rho_{\ell} \exp[j2\pi f_{\rho\ell}(km'_s T'_s + t_0)]] \right. \\ \left. \times p_1(t - km'_s T'_s) \right\} \sum_{k=0}^{\frac{T_{sim}}{T'_s} - 1} x(kT'_s) p_2(t - kT'_s) \quad (17)$$

trong đó T_{sim} là khoảng thời gian mô phỏng, t_0 là dịch thời gian, ρ_{ℓ} và $f_{\rho\ell}$ là biên độ, và tần số của thành phần đi thẳng, $p_i(t)$ là hàm xung chữ nhật đơn vị được xác định như sau:

$$p_1(t) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } 0 \leq t \leq m'_s T'_s \\ 0 & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (18)$$

$$p_2(t) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } 0 \leq t \leq T'_s \\ 0 & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (19)$$

Kết quả mô phỏng kênh phadinh vô tuyến di động chọn lọc tần số theo đặc tả kênh trong [5] được cho ở hình 3.



Hình 3. Tín hiệu ra $y(t)$ của kênh phadinh vô tuyến di động mô phỏng

Chương trình mô phỏng kênh cho hình 3 được viết bằng Matlab với các thông số sau: $T'_s = 0, 2 \cdot 10^{-6}$, $m'_s = 10.000$, $N_{1,\ell} = 10$, $L = 4$ nhánh với dạng mật độ phổ công suất Doppler như sau: “Jakes” (nhánh 0), “Gauss I” (nhánh 1), “Gauss II” (nhánh 2) và “Rice” (nhánh 3). Phương pháp được sử dụng để xác định các thông số rời rạc $c_{i,n,\ell}$, $f_{i,n,\ell}$ và $\theta_{i,n,\ell}$ như sau:

MEDS cho các nhánh 0,3 và LPMN cho nhánh 1,2. Tần số Doppler cực đại được sử dụng cho mô phỏng $f_{\max} = 91\text{Hz}$ tương ứng với tốc độ máy di động $v=110\text{ km/h}$ và tần số sóng mang $f_0 = 900\text{ MHz}$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng kênh vô tuyến di động phađinh, giải thuật chương trình mô phỏng và kết quả nhận được chương trình mô phỏng cho trường hợp máy di động có tốc độ chuyển động $v=110\text{ km/s}$ và phát tại tần số sóng mang 900 MHz theo đặc tả kênh trong [5]. Giải thuật viết chương trình mô phỏng kênh được trình bày trong bài báo này có thể áp dụng cho các đặc tả kênh khác. Có thể sử dụng chương trình mô phỏng kênh vô tuyến di động phađinh như một hộp công cụ để mô phỏng quá trình truyền dẫn vô tuyến trong các hệ thống thông tin di động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Matthias Pötzdold, *Mobile Fading Channel*, John Wiley and Sons, LTD, 2002.
- [2] Nguyễn Phạm Anh Dũng, Đề tài NCKHCN, mã số 06-HV-2003-RD-VT, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (2003).
- [3] Nguyễn Phạm Anh Dũng, *Đa truy nhập vô tuyến và lý thuyết trải phổ*, Giáo trình, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, 2003.
- [4] J. D. Parsons, A. S. Bajwa, Wideband Characterisation of Fading Mobile Radio Channel, *IEEE Eng. Proc* **129** (2) (1982) 95–101.
- [5] COST 207, *Digital Land Mobile Communications*, Office for Official Publication of European Communities, Final Report, Luxembourg, 1989.

Nhận bài ngày 29 - 12 - 2003