

임펄스성 잡음이 있을때 협대역ISDN 가입자 전송로의 통신로 용량 한계결정

○ 이 승 현*, 성 태 경**, 진 용 옥***

*,*** 경희대학교 전자공학과, ** 한국통신기술주식회사

Determination of Channel Capacity Bounds of Narrow Band ISDN Subscriber Line
in the Presence of Impulsive Noise

Jong Heon Lee*, Tae Kyung Sung**, Yong Ohk Chin***

*,*** Kyung Hee UNIV. Dept. Elec.Eng.

** Korea Telecomm. Authority International

ABSTRACT

This paper considers impulsive noise which produce burst error in high speed(approx.160Kbps) data transmission like ISDN(Integrated Service Digital Network) using PSTN(Public Switching Telephone Network). To begin with, we obtains the transfer function of subscriber line to calculate the variation of bandwidth when the gain of receiver is fixed and channel capacity of non-gaussian channel in upper-and lower bound, and evaluates the transmission capability. In this paper compares channel capacity bounds which obtains when probability density function of impulsive noise is Laplacian distribution function with impulsive noise generated by wavform synthesier.

1. 서 론

최근 공중교환전화망(Public Switching Telephone Network:PSTN)을 이용한 고속 데이터 서비스(56 Kbps 이상)를 제공 하기위한 여러가지 많은 방법이 시도되고 있다. 이를 CSDN(Circuit Switched Data Network)이라 한다. 또 64 Kbps의 디지털 발화된 음성 및 양방향성통신과 데이터를 동시에 서비스 하기위한 2B+D 채널(channel) ISDN(Integrated Service Digital Network)구성을 위해서는 160Kbps이상의 전송속도가 요구된다. 그러나 전화 가입자 회선은 4KHz 이하의 음성신호를 전송할 목적으로 설계된 것이므로 CSDN이나 ISDN에서 요구되는 속도로 데이터를 전송하는대는 여러가지문제점이 있다[5,8].

고속 교환기속에서 발생하는 임펄스성 잡음(impulsive noise)은 연속적으로 발생하는것이 아니고 제한된 시간에 발생하는 것이므로 음성통신에서는

문제가 되지 않지만 고속 데이터 전송의 경우 에러가 버스트(burst) 형태로 발생하여 치명적이된다[2].

본 논문은 임펄스성 잡음이 있을때 통신로 용량의 한계를 결정하는 방법에 대해서 고찰한다. 가입자회선은 저역통과 필터이므로 회선의 길이에 따른 전달함수 변화에 대한 고려를 포함하여 통신로 용량을 상한과 하한으로 구하였다. 이때 임펄스성 잡음이 라플라스성(Laplacian)분포인 것으로 가정하였다. 아직까지 우리나라의 교환기에서 발생하는 임펄스성 잡음에 대하여 신빙성 있는 측정자료가 없으므로 파형합성기를 이용하여 전형적인 임펄스성 잡음에 근사한 형태의 파형을 발생시켜 통신로 용량의 한계를 구한다음 라플라스성 잡음에대해 계산한 한계와 비교하였다.

2. 임펄스성 잡음원의 엔트로피

(1). 가우시성 잡음과 임펄스성 잡음

임펄스성 잡음이란 진폭이 매우 큰 잡음이 버스트의 형태로 발생하는 것을 말하며 발생원인을 명확하게 규명할 수 없으나 PSTN에서는 대부분이 교환기에서 발생하는 스위치 잡음이 선로속에 유입되어 발생하는 것으로 알려져있다[6]. 따라서 교환기 기증이나 트래픽량에따라 발생빈도와 형태가 다양하여 통계적인 방법으로 해석하고 있다.

1969년 J.H.Fennick은 전화회선에 존재하는 임펄스성 잡음의 진폭분포가 진폭이 큰 부분에서 간단한 지수함수 형태임을 발표하였고[3] 그밖의 여러 연구보고에서도 가우시성(Gaussian)분포가 아닌 지수함수 분포임을 알 수 있다[4].

본 논문에서는 이러한 자료에 근거하여 임펄스성 잡음의 확률밀도함수를

$$f_L(x) = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{\sigma} |x|\right) \quad (2-1)$$

로 정의되는 라플라스성(Laplacian)분포로 간주한다. 여기서 α 은 표준편차 즉, 잡음의 실효전압이다.

(2). 임펄스성 잡음원의 엔트로피와 엔트로피전력 확률밀도함수가 $f(x)$ 일때 연속적 엔트로피는

$$H(X) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log f(x) dx \quad (2-2)$$

로 정의된다. 임펄스성 잡음의 확률밀도함수가 식(2-1)으로 표현 되므로

$$\begin{aligned} -\log_2 f_L(x) &= -\log_2 \left(\frac{1}{\sqrt{2}\alpha} e^{-\sqrt{2}|x|/\alpha} \right) \\ &= -\log_2 \frac{1}{\sqrt{2}\alpha} + \frac{\sqrt{2}}{\alpha} |x| \log_2 e \end{aligned}$$

이 되고 이를 식(2-2)에 대입하면

$$\begin{aligned} H_L(X) &= \log_2 \sqrt{2} \alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_L(x) dx \\ &\quad + \frac{\sqrt{2}}{\alpha} \log_2 e \int_{-\infty}^{\infty} |x| f_L(x) dx \\ &= \log_2 \sqrt{2} \alpha \quad (2-3) \end{aligned}$$

을 얻는다.

잡음의 엔트로피 전력은 원래의 잡음과 대역폭이 같고 엔트로피가 동일한 백색가우시성 잡음의 전력으로 정의된다[1]. H' 를 원래잡음의 엔트로피라고 하면 엔트로피 전력 N_e 는

$$N_e = \frac{1}{2\pi e} \exp(2H') \quad (2-4)$$

이다. 가우시성 분포일때 엔트로피가 최대이므로 어떠한 잡음의 엔트로피 전력도 실효전력보다 작거나 같다. 라플라스성 잡음의 엔트로피 전력은 식(2-3), (2-4)에 의해

$$N_{Le} = \frac{\alpha^2}{\pi e} \quad (2-5)$$

이다.

3. 회선교환 데이터통신 시스템의 모델

(1). 전체 시스템의 모델

본 논문에서는 CSDN의 모델을 가우시성 잡음과 임펄스성 잡음을 모두 고려한 경우(모델 1)와 임펄스성 잡음만을 고려한 경우(모델 2)로 분리하여 설정하였다. 그림 1은 모델 1의 경우 CSDN을 표현한 것이고 그림 2는 그림 1의 등가표현이다. 그림 1에서 임펄스성 잡음이 교환기에서 유입되는 것으로 나타내었으며 그림 2에서 전력 스펙트럼밀도가 N_0 인 백색 가우시성 잡음이 가입자 회선 L1, L2에 유입되어 수신점에서 $N_G(f) = N_0 |H_1(f) H_2(f)|^2$ 인 비백색 가우시성 잡음이 되는 것을 표현하였다.

모델 2의 경우 $N_0=0$ 이고 임펄스성 잡음은 $H_1(f)$ 와 무관하므로 그림 2는 그림 3과 같이 나타

낼 수 있다.

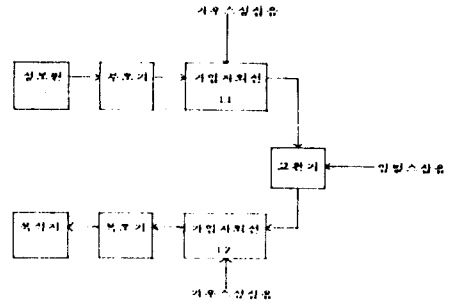


그림 1. 회선교환 데이터 통신 시스템의 모델 (모델 1)

Fig 1. Model of circuit switched data communication system (Model 1)

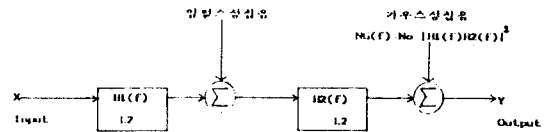


그림 2. 그림 1의 등가표현

Fig 2. Equivalent representation of Fig 1

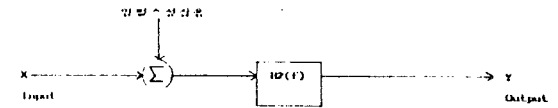


그림 3. 회선교환 데이터 통신 시스템의 모델 (모델 2)

Fig 3. Model of circuit switched data communication system (Model 2)

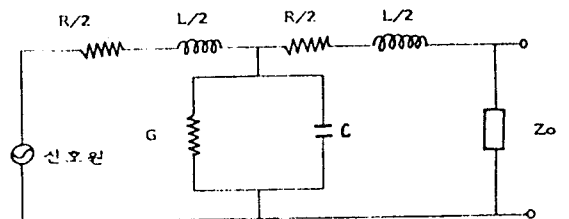


그림 4. 가입자 회선의 등가회로

Fig 4. Equivalent circuit of subscriber line

(2). 가입자 회선의 디지털 필터링 모델

가입자 회선이 평행 2선식 선로라하면 R, L, C, G의 1차정수로 나타낸 등가회로는 그림 4와 같다. 근사적으로 분포정수를 집중정수로 가정하여 그림 4의 등가회로에 대하여 이산 전달함수를 구하면

$$H(f) = \frac{a_0}{1 - b_1 e^{-j2\pi f T} + b_2 e^{-j4\pi f T} - b_3 e^{-j6\pi f T}} \quad (3-1)$$

이다. 또

$$|H(f)|^2 = \frac{a_0^2}{B_{00} - 2B_{11}\cos\pi + 2B_{22}\cos 2\pi - 2b_3\cos 3\pi} \quad (3-2)$$

이다. 여기서

$$\begin{aligned} a_0 &= P/D_0 \\ B_{00} &= 1 + b_1 + b_2 + b_3 \\ B_{11} &= b_1 + b_1b_2 + b_2b_3 \\ B_{22} &= b_2 + b_1b_3 \end{aligned}$$

이고

$$b_1 = D_1/D_0, \quad b_2 = D_2/D_0, \quad b_3 = D_3/D_0$$

이다. 또

$$\begin{aligned} D_0 &= f^3 + ef^2 + hf + m \\ D_1 &= 3f^3 + 2ef^2 + hf \\ D_2 &= 3f^3 + ef^2 \\ D_3 &= f^3 \end{aligned}$$

이며 여기서

$$\begin{aligned} e &= (2R/L) + (G/C) + (Z_0/L) \\ h &= (2RC/LC) + (R/L) + (RZ_0/L) + (2/LC) + (GZ_0/LC) \\ m &= (2R/L^2C) + (R^2G/L^2C) + (RGZ_0/L^2C^2) + (Z_0/L^2C^2) \\ P &= Z_0/L^2C \end{aligned}$$

이다. 식(3-1), (3-2) 은 R, L, C, G 가 주파수에 대해 불변하는 것으로 표현되어 있으나 실제로는 주파수와 선로길이에 따라 달라지며 특히 R, G 는 주파수에 따라 민감하게 변화한다. 그림5 는 주파수에 따라 실경 0.65mm선로의 1차정수를 측정한 자료를 이용하여 [7] $|H(f)|^2$ 값을 주파수에 대해 이산적으로 구하여 나타낸 것이다.

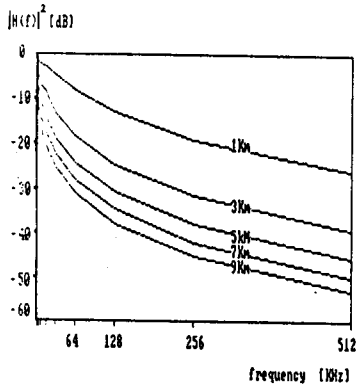


그림 5. 가입자 회선의 손실
Fig 5. Loss of subscriber line

(3). 가입자 회선에 의한 엔트로피 감소

가입자 회선을 그림5 와같은 특성을 갖는 선형 필터로 볼때 수신단에서 단위 주파수당 자유도 (degree of freedom) H2는

$$H_2 = H_1 + \frac{1}{W} \int_W \log |H(f)|^2 df \quad (3-3)$$

이다. [1]. 여기서 H1은 회선의 입력에서 주파수당 자유도이고 W 는 대역폭이다.

식(3-3) 에서 우변의 두번째 항을 K 로 두면 회선을 통과한 후 잡음 엔트로피 전력 Ne는

$$N_e = N_{e1} \exp(K) \quad (3-4)$$

이다. 여기서 Ne1 은 채널을 통과하기 전 잡음 엔트로피 전력이다. $|H(f)|^2 < 1$ 이므로 K 는 - 값이고 선심경, 주파수에 따라 달라지며 이는 전송로의 특성을 나타내는 중요한 파라미터가 된다.

4. 비가우스성 채널의 통신로 용량

잡음이 비가우스성일 경우 수신점에서 H(Y)가 최대가 되는 정보원의 확률밀도함수를 구할 수 없으므로 통신로 용량을 정확하게 결정할 수는 없으나 2 장에서 언급한 엔트로피 전력을 이용하여 상한과 하한으로 구할 수 있다. 잡음이 섞인 신호의 평균전력은 S + N 이고 신호와 잡음이 모두 백색 가우스성 분포일 때 엔트로피가 최대가 되며 그 양은 $w \log_2 2\pi(S+N)$ 이다. 따라서 통신로 용량의 상한은

$$\begin{aligned} C &= \max H(Y) - H(Y|X) \\ &\leq w \log_2 2\pi e(S+N) - w \log_2 2\pi e N_e \quad (4-1) \end{aligned}$$

로 구할 수 있다. 식(4-1) 에서 등호는 $N_e = N$ 일때 즉 잡음이 백색 가우시안 잡음일 때 성립한다.

평균전력이 각각 N1, N2 이고 엔트로피 전력이 Ne1, Ne2 인 두 양상분의 합에 의한 엔트로피 전력 Ne3 는

$$N_{e1} + N_{e2} \leq N_{e3} \leq N_1 + N_2$$

이다. 따라서

$$\max H(Y) \geq w \log_2 2\pi e(S+N)$$

이고

$$C \geq w \log_2 2\pi e(S+N_e) - \log_2 2\pi e N_e \quad (4-2)$$

이다. 식(4-1), (4-2) 에 의해 잡음이 비가우스성일 때 통신로 용량은

$$w \log_2 \left(\frac{S+N_e}{N_e} \right) \leq C \leq w \log_2 \left(\frac{S+N}{N_e} \right) \quad (4-3)$$

로 한계를 갖는다. 즉 비가우스성 채널의 통신로 용량은 식(4-3) 도주어진 상한과 하한사이에 존재한다.

제 3장에서 언급한 모델 2의 경우 식(4-3) 은

$$w \log_2 \left(\frac{S+NLe}{NLe} \right) \leq C \leq w \log_2 \left(\frac{S+NLe}{NLe} \right)$$

이 되며 $H2(f)$ 에 의해 N 가 변화한다.

모델 1의 경우

$$H3(f) = H1(f)H2(f)$$

라하고 $H3(f)$ 에 의한 엔트로피 감소량을 $K3$ 라 하면 수신점에서 가우스성잡음과 신호의 엔트로피 전력은

$$NGe = NG \exp(K3)$$

$$Se = S \exp(K3)$$

이고 수신점에서 라프라스성 잡음의 엔트로피 전력은

$$NLe2 = NLe1 \exp(K2)$$

이다. 여기서 $NLe1$ 은 가입자 외신 $L2$ 를 통과하기 전에 라프라스성 잡음의 엔트로피 전력이고 $K2$ 는 $L2$ 에 의한 엔트로피 감소량이다. 따라서 통신도 용량의 한계는

$$W \log_2 \left(\frac{Se + NGe + NLe}{NGe + NLe} \right) \leq C \leq$$

$$W \log_2 \left(\frac{Se + NGe + NL}{NGe + NLe} \right)$$

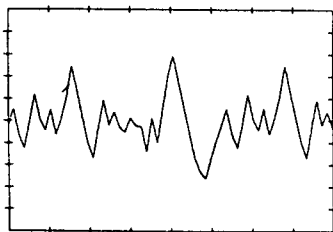
이 된다.

5. 결과 및 고찰

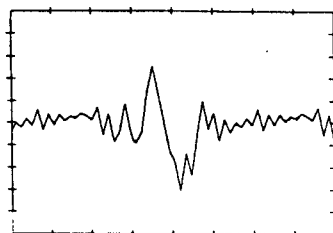
(1). 데이터 획득과 확률밀도함수 추정

임펄스성 잡음의 파형을 EXACT 202 파형합성기로 발생시켜 12 bit A/D 변환한 다음 IBM PC(XT)로 1024 개의 데이터를 획득하였다. 그림6 은 획득한 데이터의 파형이다.

확률밀도함수를 추정하기 위해 1024 개의 획득된 데이터를 보관하여 4093 개로 만들었으며 그림7 에 4093 개로 보관된 데이터에 대해 확률밀도함수를 추정하여 나타내었다.



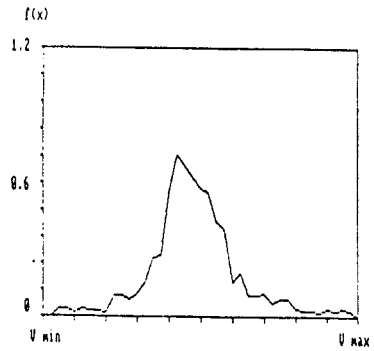
(a) pulse 1



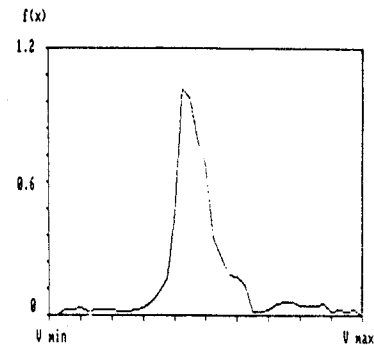
(b) pulse 2

그림 6. 획득된 데이터의 파형

Fig 6. Waveform of acquired data



(a) Pulse 1



(b) Pulse 2

그림 7. 추정된 확률밀도함수

Fig 7. Estimated probability density function

(2). 통신도 용량 한계결정

수신기의 이득을 고정시켰을때 대역폭은 가입자 외신의 전달함수에 의해 결정되며 외신의 길이가 길면 그 만큼 대역폭이 감소한다. 그림8 은 모델2의 경우 수신기의 이득을 10dB, 20dB, 30dB, 40dB로 고정시키고 임펄스성 잡음을 라프라스성 잡음으로 간주하였을때 통신도 용량의 한계를 구하여 나타낸 것이다. 그림 9는

pulse 1 에 대하여 그림8 과 같은방법으로 통신도 용량의 한계를 표시한 것이다.

그림10은 외신의 길이가 5km인 경우 가우스성 잡음과 라프라스성 잡음에 대한 통신도 용량을

pulse 2 에 대한 통신도 용량과 비교하여 나타낸 것이다. 이때 pulse 1 과 pulse 2의 통신도 용량의 한계는 임펄스성 잡음을 가우스성 잡음으로 보았을때 통신도 용량과 라프라스성 잡음으로 보았을때 통신도 용량의 상한 사이에 존재함을 알 수 있다.

그림 11는 S/N 가 10 dBm 으로 일정하다고 할때 모델1의 경우 통신도 용량의 한계를 $NG = 0$ 인 모델2의 경우와 비교한 것이다. 여기서 $L1, L2$ 각각 4km, 5km이고 대역폭이 128kHz 이며 이때 수신

기 이득은 38 dB이다. 또 $K_3 = -9.7$ 이고 $K_2 = -7.45$ 이다.

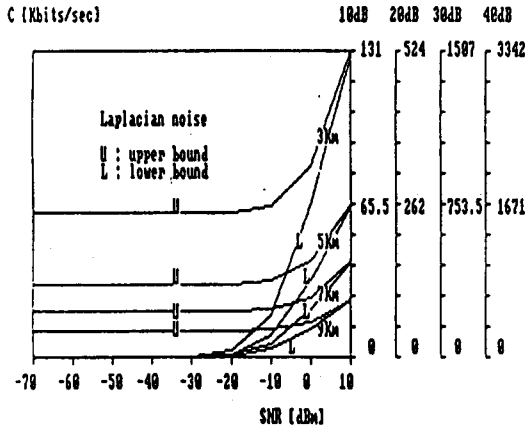


그림 8. 타프라스성 잡음에대한 통신로 용량의 한계

Fig 8. Bounds of channel capacity in case of Laplacian noise

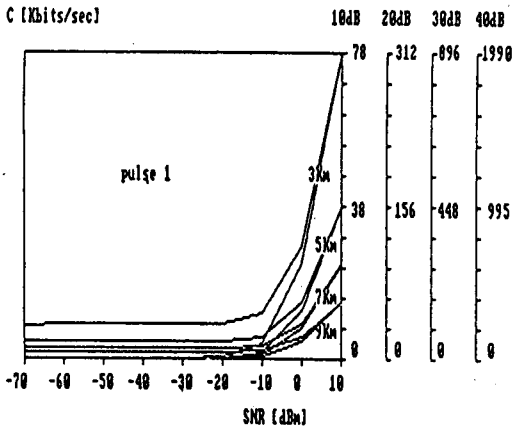


그림 9. Pulse 1 에대한 통신로 용량의 한계

Fig 9. Bounds of channel capacity in case of pulse 1

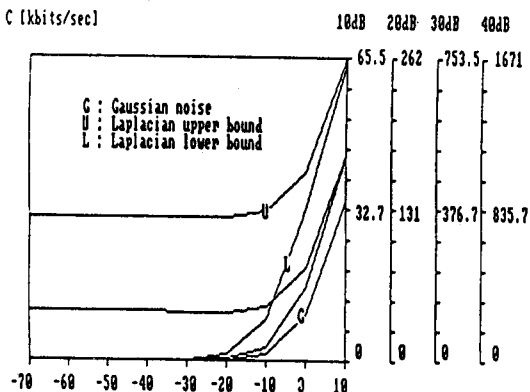


그림 10. 타프라스성 잡음과 pulse 2 에대한 통신로 용량의 한계 비교 (회선길이 : 5 Km)

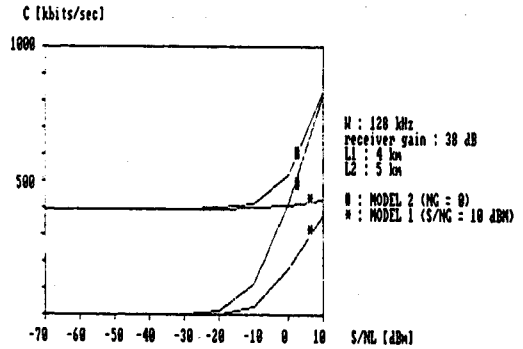


그림 11 모델1 과 모델2 의 통신로 용량 한계비교
Fig 11. Comparison of bounds of channel capacity of model 1 and model 2

6 결론

본 논문은 기존의 PSTN을 이용하여 데이터를 전송하는 협대역 ISDN에서 임펄스성 잡음의 영향을 통신로 용량의 관점에서 고찰한 것이다 가입자 회선의 전달함수를 구한 다음 수신기의 이득이 임정하다고했을때 통신로 용량을 계산하여 임펄스성 잡음이 발생하였을 경우 데이터 전송능력을 평가할 수 있었다.

* 참고 문헌 *

1. C.E.Shannon,W.Weaver,"The Mathematical Theory of Communication",Univ. of Illinois Press,1949.
2. P.Mertz,"Model of Impulsive Noise for Data Transmission",IEEE,Trans.on Comm,Sys.,Vol.CS-9,pp.130-139,1961.
3. J.H.Fennick,"Amplitude Distribution of Telephone Channel Noise and Model for Impulse Noise",Bell Sys.Tech.J.,Vol.48,pp.3243-3263,1969
4. M.Kurland,D.A.Molony,"Observation on the Effects of Pulse Noise in Digital Data Transmission System",IEEE.,Vol.Com-15,No.4,pp.522-556,1967.
5. S.V.Ahamed,P.P.Bohn,"Tutorial on Two-Wire Digital Transmission in the Loop Plant",IEEE.,Vol.COM-29,No.11,pp.1554-1564,1981.
6. P.G.Potter,B.M.Smith,"Statistics of Impulsive noise Crosstalk in Digital Line Systems on Multipair Cable",IEEE.,VOL.COM-33,NO.3,PP. 259-270,1985.
7. Bell Technical Reference PUB 62310 Digital Data System Channel Interface Specification.,1983.
8. F.G.Duffy,"Analog Transmission Performance on Switched Telecommunication Network",B.S.T.J., Vol.50,No.4,pp.1311-1367,1971.