

# 센서 네트워크에서의 채널 모델링

한상섭<sup>0</sup> 안종석  
동국대학교 컴퓨터공학과  
{dboy1<sup>0</sup>, jahn}@dgu.edu

## A Wireless Channel model for Sensor Network

Sang-Seob Han<sup>0</sup> Jong-Suk Ahn  
Dept. of Computer Engineering Dongguk University

### 요약

무선 통신 채널에서 오류 패턴은 유선에 비해 다른 오류 특징을 가지고 오류가 빈번하게 발생한다. 특히 오류가 오랫동안 없는 상태가 지속되기도 한다. 그러나 시뮬레이션에서 이용되는 균일 분포(Uniform distribution)와 같은 간단한 오류 모델에 의해 발생된 오류는 실제적인 오류 패턴과는 많은 차이가 있다. 이러한 차이점을 없애기 위해 측정된 오류를 기반으로 해서 실제적인 오류 패턴과 비슷한 chaotic map 모델을 시뮬레이션에서 사용할 수 있다. Chaotic map 모델은 다른 오류 모델에 비해서 실제적인 오류 패턴과 비슷한 오류 패턴을 가지고, 비교적 간단하게 필요한 파라미터를 구할 수 있다. 본 논문에서는 chaotic map 모델을 무선 센서 네트워크에 적용 했다. 센서 네트워크에서 수집된 데이터와 이 데이터를 통한 Chaotic Map 모델을 CCDF(complementary cumulative distribution function)를 통해 비교했다. 무선랜 환경에서 실행된 chaotic map model은 2/3이상의 결과에서 일치하였지만, 센서 네트워크를 적용하면 무선랜과는 다른 특성을 가지기 때문에 30%의 트레이스에서 chaotic map 모델과 일치한다.

### 1. 서론

최근 들어 이동 편의성과 향상된 전송 속도로 인해 무선 네트워크의 사용이 다방면으로 확대되고 있다. 그 중에서도 무선 센서 네트워크는 센서를 통한 데이터 수집으로 의약품 시스템, 기상 측정, 환경 탐사와 같은 여러 분야에 사용될 수 있다. 그러나 무선 채널은 오류에 민감한 특징을 가지고 있다. 유선 채널에 비해서 빈번하게 오류가 발생할 뿐 아니라 오류의 특성도 다르다. 이러한 오류의 특성을 파악하고 오류 모델을 정확하게 정의하는 것이 중요하다. 예를 들면, 새로운 프로토콜 성능 평가 시, 실제적인 실험에 앞서 시뮬레이션 상에서 오류 모델을 사용해 프로토콜의 성능을 비교할 수 있다. 또 FEC(Forward error correction)의 성능 평가에도 오류 모델에 따라 차이를 나타내게 된다. 이밖에도 다양한 오류 모델에 따른 TCP의 성능[1]을 비교할 수 있다.

이러한 오류 모델이 오류를 발생시키는 원인에 의해 결정될 수도 있지만, 무선 환경에서 발생되는 오류는 열잡음처럼 확률적으로 계산될 수도 있다. 확률 오류 모델은 아날로그 오류 모델과 디지털 오류 모델로 나뉠 수 있다. 또, 각각의 모델은 이론적 모델과 측정적 모델로 나뉠 수 있다. 아날로그 모델에서는 Rayleigh 페이딩 모델[2]같은 이론적 모델과, [3]과 같은 측정적 모델이 있다. 디지털 모델로는 이론적 모델인 Gilbert-Elliott[4][5] 모델이 있고, 이 모델은 2-state 마코프(Markov) 프로세스를 사용해서 오류의 특성을 나타낸다.

본 논문은 디지털 모델에서 측정적 모델인 chaotic map 모델 [6]을 센서 네트워크에 적용방안에 대해 기술한다. 측정적 모델의 특징인 실제적인 오류 측정을 위해서 U.C. Berkeley에서 개발된 Mica Mote를 사용해 트레이스를 받았다. 이 측정 방법을 사용해서 수신된 파일과 송신된 파일을 비교해 오류 비트의 위

치와 개수를 알 수 있다. 트레이스 파일에서 연속적으로 오류가 없는 상태(error-free)를 run이라 하고, 연속적으로 오류가 발생하는 상태(erroneous)를 burst라 한다. 트레이스로부터 오류 패턴의 특성을 파악하기 위해 run length와 error length를 구하고, 특정 run length보다 작은 run들의 개수를 구해서 run length 분포를 구한다. 이는 CDF(cumulative distribution function :  $F_x(x) = \Pr(X < x)$ ) 즉, 어떤 특정 값  $X$ 보다  $x$ 보다 작은 확률을 구하는 것이다. 논문에서는 run length분포의 시각화를 위해 그림 1과 같은 CCDF(complementary cumulative distribution function)을 사용한다.

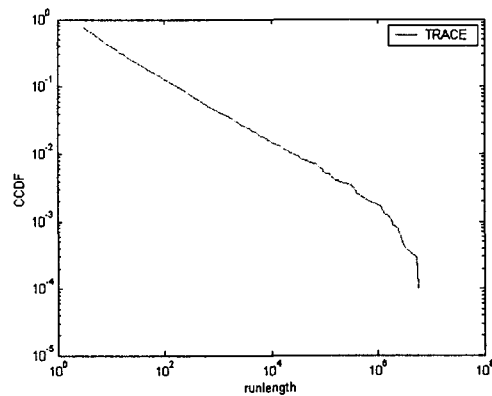


그림 1 Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF)

그리고 대부분의 트레이스에서 run length 분포 그래프가 점진적으로 작아지는 heavy-tailed distribution을 따른다. 위와 같은 chaotic map은 특성을 가지기는 하지만, 70%이상의 경우에 chaotic map의 PER은 트레이스 파일의 PER에 비해서 1/2 ~ 1/10의 값을 가진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구를, 3절에서는 chaotic map 모델과 파라미터 관계에 대해서 기술하고, 4절에서는 실험환경과 센서 네트워크에서 구한 트레이스 파일을 chaotic map 모델과 비교한다. 5절에서는 실험결과를 요약하고 향후 연구 방향에 대해서 기술한다

2. 관련연구

실제적인 채널 환경을 모델링하기 위한 방법은 여러 가지가 있다. 이러한 방법들은 대부분 특정비트가 오류인지 아닌지를 결정한다. 대부분 시뮬레이션에서 많이 사용되고 가장 간단한 모델은 BSC(Binary Symmetric channel)이다. BSC 모델은 모든 비트는 같은 비트 오류 가능성 p를 가지게 된다. 이 하나의 파라미터를 평균 비트 오류율(MBER: mean bit error rate)에 근거해 오류를 만들게 된다. 둘째로, 마코프 프로세스를 이용한 Gilbert-Elliott 모델이 있다. 채널의 상태를 good과 bad로 나누고, 각각의 상태를 유지하기 위한 시간과 비트 오류 가능성 p를 통해 데이터를 만들어 내는 것이다.

여기에서 good, bad 상태를 유지하기 위한 시간은 기하 분포를 따르기 때문에, BSC 모델과 마찬가지로 burst, run length 분포가 지수적으로 감소하고, 두꺼운 꼬리 분포를 가지지 않게 된다. 그러므로 실제적인 데이터와는 맞지 않게 된다. 이 외에도 N-상태 마코프 체인[8][9]을 이용한 모델도 있다. 그리고 Bipartite 모델[7]은 chaotic map 모델처럼 트레이스를 이용해서 파라미터를 구한다. chaotic map 모델에 비해서 정확하게 오류에 대한 모델링을 할 수 있지만, 100여 개 이상의 파라미터를 매번 구해야 하므로 오류 모델이 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 chaotic map은 파라미터의 개수가 단지 6개지만, 기존의 간단한 오류 모델에 비해서는 훨씬 실제 오류 패턴과 부합한다.

3. chaotic map

본 절에서는 chaotic map 모델에 대해서 기술하고, 센서 네트워크에서 어떻게 적용할 것인지 적용 방안에 대해 기술한다.

chaotic map 모델은 Gilbert-Elliott model처럼 good, bad 두 가지의 상태가 사용된다. 가장 큰 차이점은 특정 한 비트의 오류 여부, 즉 상태의 변환은 방정식에 의해 정책적으로 결정된다. Good 상태에서 생성된 데이터는 항상 오류가 없고, bad 상태에서 생성된 데이터는 항상 오류를 가지게 된다.

$$x_{t+1} = x_t + u_g x_t^{z_g} + \epsilon_g \quad t \in N \quad (1)$$

우선 good 상태에서 하나의 비트가 생성되면, 이 비트의 오류 여부를 결정 짓는 방정식이 eq(1)이다.

계산된 x값을 통해 이 값이 1보다 클 경우 bad 상태로 전이되고, x 값을 균등 분포에 의해 0과 1사이의 랜덤한 값을 가지게 된다. Bad 상태에서는 good 상태에서처럼 같은 방법이 적용되지만, 사용되는 파라미터 값이 달라지게 된다. chaotic map 모델에서 사용되는 파라미터는 z, u, e이고 good과 bad 상태에서 각각 다른 값을 가진다.

각각의 파라미터들은 CCDF를 표현하는 특성을 가진다. z는 그래프의 기울기를 나타내며, 값이 클수록 오랜 시간 동안 오류

없는 상태를 유지할 확률이 높다. u는 길이 축의 이동을 나타내며, u의 값 CCDF 그래프에서 축의 이동을 나타내는 것으로 u의 값이 크다는 것은, 트레이스에서 짧은 run이 많다는 것을 의미하고, u의 값이 작다는 것은 트레이스에서 긴 run이 많이 나타난다는 것을 의미한다. 마지막으로 e는 1/e에 한 번씩 상태 전이가 일어난다는 것을 말하며, 최대 run의 길이가 제한되어 있다. chaotic map의 파라미터는 트레이스 파일로부터 z의 초기값을 구한 후, z를 통해 u와 e의 초기값을 계산한다. 그러나 이렇게 생성된 CCDF는 실제 데이터와는 많이 틀리다. 그래서 생성된 CCDF에서 u와 e값은 수정인자(correction factor)에 의해 트레이스 파일과 비교하면서 적절한 값을 가질 때까지 반복적으로 값을 변화시킨다.

4. 성능 평가

4.1 실험환경

본 논문에서는 U.C. Berkeley 에서 개발된 Mica Mote[10]를 사용해서 데이터를 수집하였다. Mica Mote는 ATMEGA 128L 마이크로 컨트롤러와 128K bytes flash memory, 4K bytes of SDRAM등으로 구성되고, 송수신은 433Mhz대역의 라디오파를 통해 이뤄진다. 그리고 Mote는 이벤트기반의 운영체제인 TinyOs[11]를 통해 구동된다. TinyOs는 무선 센서네트워크에 최적화된 운영체제로써 Mote를 통해 시스템에 구매 받지 않고 여러 가지 분야에 응용될 수 있는 임베디드 시스템이다.

실험 환경은 MAC계층이 없이 물리계층에서 연속적인 전송으로 이뤄졌다. 수신 모드와 송신 모드 각각은 송신과 수신만 담당하도록 되어있고, 송신 모드는 100바이트(3바이트의 헤더, 97바이트의 사용자 데이터) 패킷을 9.6kbps의 지속적인 속도로 전송할 때, 측정된 트레이스를 통해 run/burst length를 구했다. 두 모드는 장애물에 의해 가려져 있는 비가시거리에서 사람들이 빈번하게 이동하는 곳에서 실험이 진행되었다.

4.2 성능 평가

본 절에서는 먼저 실제적인 실험에 의해 얻은 데이터의 CCDF를 구하고, 그것을 바탕으로 해서 chaotic map 모델의 파라미터를 구한다. chaotic map 모델을 통해 구한 CCDF와 트레이스의 CCDF를 비교한다. 두 CCDF간의 비교는 PER(Packet Error rate)를 이용한다.

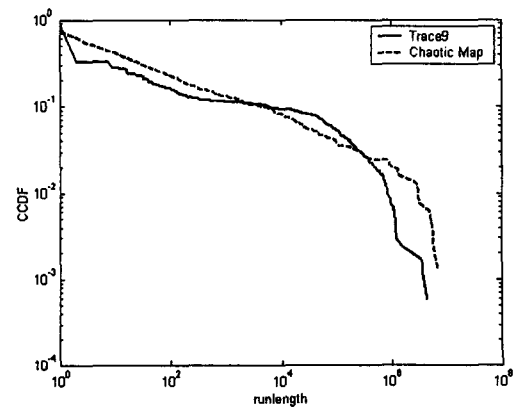


그림 2 트레이스 9와 chaotic map CCDF 비교

그림 2는 트레이스 파일로부터 구한 CCDF와 chaotic map을 통해 구한 CCDF를 비교한 것이다. 그림에서 x축은 오류가 없이 연속되는 비트의 길이를 나타내는 runlength이고, y축은 runlength가 비트 스트림에서 나타날 확률을 나타낸다. 그림 2에서 트레이스9의 PER은 0.27% 이고, chaotic map의 PER은 0.24% 이다. 그러므로 약 10%정도의 오차를 가진다. 오차를 가지는 하지만 그래프는 상당히 유사함을 알 수 있다.

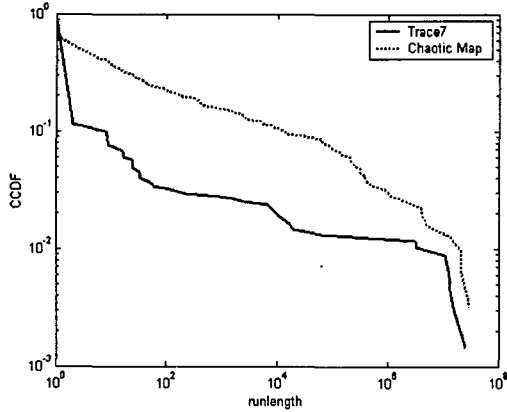


그림 3 트레이스 7과 chaotic map의 CCDF 비교

그러나 대부분 70%이상의 트레이스 파일에서는 그림 3과 같이 두 CCDF간의 차이가 현격하게 날 뿐만 아니라, 표 1에서처럼 chaotic map 모델의 PER이 트레이스의 PER보다 1/2 ~ 1/10 정도의 낮은 값을 가진다. 특히 오류율이 높을 때는 트레이스 파일과 chaotic map 차이는 더욱 커진다. 오류율이 높은 환경 하에서는 chaotic map의 성능이 떨어진다. 그림3은 7번 트레이스 데이터를 나타낸 것으로 PER의 값이 많이 차이가 남는다.

	PER			PER	
	트레이스	chaotic map		트레이스	chaotic map
T1	0.032	0.012	T6	0.0016	4.46E-4
T2	0.012	0.0056	T7	0.0170	0.0054
T3	0.18	0.008	T8	4.26E-4	2.86E-4
T4	0.0213	0.0014	T9	2.7E-4	2.4E-4
T5	9E-4	1.63E-5	T0	1.22E-4	1.86E-4

표 1. 트레이스와 chaotic map의 PER 비교

chaotic map 모델에서 z값은 CCDF 끝의 경사를 결정할 뿐만 아니라, 평균 runlength와도 밀접한 관계가 있다. e가 0이고, z 값이 2보다 클 경우에는 평균 runlength의 무한대로 갈 수도 있게 된다. 이처럼 chaotic map 모델의 특징을 가장 잘 나타낼 수 있다. z값을 비교해 보면, 802.11을 적용한 chaotic map 모델에서는 z값의 범위가 1.95 ~ 4.11로 계산되었지만, 센서 네트워크에서 나타난 z값은 1.87~8.31까지 나타난다.

이처럼 802.11에서 적용한 chaotic map 모델과 센서 네트워크에서 적용한 모델은 큰 차이가 있다. 802.11은 2Mbps의 전송속도를 가지지만, 센서 네트워크에서 9.6kbps의 전송속도를 가지므로 같은 시간 동안의 데이터 전송이라고 하더라도, run-

length는 달라질 수 밖에 없다. 그리고 센서 네트워크에서는 무선랜에 비해 출력이 낮고, 사용 주파수 다르면서 잡음이나 오류에 민감하기 때문에 기존 chaotic map 모델과 다른 결과를 나타낸다.

### 5. 결론 및 향후 연구 과제

실제 무선 센서 네트워크에서 관찰되는 오류 패턴들은 다양하고, 특히 오랫동안 오류가 지속되는 현상은 기존의 간단한 오류 모델로는 그 특성을 파악할 수 없다. 그래서 이외 같은 단점을 없애기 위해 chaotic map 모델은 실질적인 트레이스로부터 오류 패턴의 특징을 수집해 확률적 계산하는 방법을 사용함으로써, 실제 오류 유형을 고려할 수 있게 된다. chaotic map 모델은 기존의 오류 모델에 비해서 실제적인 오류 패턴과 상당히 정확하게 맞아 들어가고, 간단한 계산식을 통해 여섯 개의 파라미터만 필요하기 때문에 복잡성도 크지 않다. 그러나 기존 연구는 무선랜 환경에서 적용되었지만, 저출력 센서 네트워크에 적용되면, 센서 네트워크의 주파수 특징과 전송 속도 등 많은 부분에서 무선랜 환경과는 달라져 대부분의 트레이스 파일에서 chaotic map 모델과 다른 결과를 보여주게 된다. 향후 연구 과제로는 무선 센서 네트워크 chaotic map 모델을 적용하면 기본적인 특징인 heavy-tailed distribution 가지지만, 기존 결과와 많이 틀리므로, 파라미터를 센서 네트워크 적용될 수 있도록 하고, chaotic map 모델 특징을 가지지 않는 트레이스 파일과는 관계를 규명하는 것이다.

### 참고문헌

- [1] K. Pentikousis, H. Badr, " *Error Modeling for TCP Simulations*, Proc. EuroSim 2001. Delft, The Netherlands, June 2001
- [2] Theodore S. Rappaport, Rias Muhamed, and Varun Kapoor, " *Propagation models*," in The Communications Handbook, Jerry D. Gibson, Ed., pp. 1182D 1196. CRC Press / IEEE Press, Boca Raton, Florida, 1996.
- [3] Kenneth L. Blackard, Theodore S. Rappaport, and Charles W. Bostian, " *Measurements and models of radio frequency impulsive noise for indoor wireless communications*," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 11, no. 7, pp. 991D 1001, Sept. 1993.
- [4] E. N. Gilbert, " *Capacity of a burst-noise channel*," Bell Systems Technical Journal, vol. 39, pp. 1253D 1265, Sept. 1960.
- [5] E. O. Elliot, " *Estimates of error rates for codes on burst-noise channels*," Bell Systems Technical Journal, vol. 42, pp. 1977D 1997, Sept. 1963.
- [6] Andreas Kopke, Andreas Willig, Holger Karl, " *Chaotic Maps as Parsimonious Bit Error Models of Wireless Channels* ". In Proceedings of the IEEE Infocom, San Francisco , USZ, TKN, IEEE, March 2003.
- [7] Andreas Willig, " *A New Class of Packet- and Bit-Level Models for Wireless Channels*," in Proc. IEEE PIMRC, 2002, accepted for publication
- [8] Young Yong Kim, San qi Li, " *Modeling multipath fading channel dynamics for packet data performance analysis* " , In Proc. IEEE INFOCOM 98. IEEE, 1998
- [9] Young Yong Kim, San qi Li, " *Capturing Important Statistics of a Fading/Shadowing Channel for Network Performance Analysis* " , IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 12(5):888-901, May 1999
- [10] <http://today.cs.berkeley.edu/tos/>.