

무선 TDMA/TDD 시스템에서의 상·하향 링크 통합 페어큐잉 스케줄링

최효현, 최명환

서강대학교 컴퓨터학과

전화 : 02-705-8495 / 핸드폰 : 017-280-8495

Uplink/downlink – combined Fair Queueing Scheduling for Wireless TDMA/TDD Systems

Hyohyun Choi, Myungwhan Choi

Dept. of Computer Science and Engineering, Sogang University

E-mail : mchoi@ccs.sogang.ac.kr

Abstract

Fair Queueing has been studied only on wired network. When it is applied to wireless network, the collision phenomenon makes a problem. The information of queue of MT cannot be transferred to fair queueing algorithm in real time easily. We propose wireless fair queueing scheduler that protects short term fairness and long term fairness. We developed it in TDMA/TDD environment. Our scheme also supports uplink and downlink at the same time. And it can make subframe boundary based on fair scheduling algorithm.

I. 서론

최근 무선망의 활용이 폭발적으로 증가함으로써 무선링크를 통하여 상호 경쟁적으로 접속되는 여러개의 이동단말기간에 제한된 무선자원을 다양한 서비스품질 요구조건을 보장하면서 공평하게 할당해야 하는 문제가 더욱더 중요해지고 있다. 유선망에서는 하나의 링크를 통해 여러개의 패킷흐름(혹은 연결)이 설정될 때 각 패킷흐름에 대해 채널접속지연이 일정한 상한치를 넘지 않고(bounded channel access delay) 이들 패킷흐름이 서로 공평하게(fairness) 공유링크를 사용하도록 하기 위해서 fluid fair queuing(혹은 generalized processor sharing)[1]을 주로 근간으로 하고 있으며 패킷단위로 채널을 사용하는 패킷유선망에서는 fluid fair queuing에 대한 근사법으로써 WFQ(weighted fair queuing)[2]나 WF2Q(worst-case fair weighted fair queuing)[3] 등이 사용된다. 그러나 이러한 유선망 fair queuing 방식을 무선망에 적용하는 것은 무선채널환경에서 발생하는 문제점 때문에 쉬운 일이 아니다. 예를 들어 fluid fair queuing을 사용하는 유선망에서는 보낼 패킷이 있는 연결에 대해서는 가중치(weight)에 따라 공평하게 채널의 대역

폭을 할당할 수 있으나 무선환경에서는 이동단말기의 위치에 따라 채널요류특성이 서로 다르기 때문에 일부 이동단말기는 보낼 패킷이 있다하더라도 패킷의 송신이 불가능하게 된다. 이외에도 여러 이동단말기간의 경쟁적 채널 할당과 기지국에서 이동단말기의 상태에 대한 정확한 정보 수집이 어렵다는 문제점 등이 있다.

또, 무선에서의 fairness는 그동안 유선망에서 일반적으로 고려되던 장기공평성(long term fairness)은 물론이고 단기공평성(short term fairness)도 중요하게 고려되고 있다. 위에서 언급한 무선환경의 문제점에 의하여 장기공평성에는 큰 영향이 없을지라도, 일정 시점에서 서비스품질이 급격히 떨어지는 경우가 발생하기 때문이다.

TDMA(time-division multiple access) 방식은 광범위한 서비스 속도(특히 초고속)를 요구하고 다양한 서비스의 질(QoS)에 대한 보장이 요구되는 무선멀티미디어 시스템의 MAC에 많이 사용되고 있다[4, 5, 6, 7]. 예를 들면, ETSI에서 표준화작업을 수행중인 HIPERLAN/2 시스템에서는 25 Mbps의 전송속도를 제공하며 TDMA/TDD(time-division duplex)방식을 MAC에 사용하고 있다[5]. 20 Mbps에서 50 Mbps 이상까지의 전송속도를 제공하는 Magic WAND(Wireless ATM network demonstrator)에서 MAC 프로토콜로 사용하는 MASCARA 또한 TDMA/TDD 구조를 사용하고 있다[6]. 따라서, UMTS나 IMT-2000과 같은 초고속 무선환경에서의 TDMA/TDD 방식의 연구는 중요도가 더 높아지고 있다. 이에 본 연구는 무선 페어큐잉 스케줄링 알고리즘을 개발하는데 있어서 TDMA/TDD방식에 근간을 두었다.

최근에는 fair queuing을 무선환경에 적용하는 연구에 관심이 모아지고 있으나 몇몇 문제점을 해결하는 데 국한되어 있다 [11, 12, 13, 14]. Nandagopal[11] 등은 fairness를 지원하는 contention resolution 방안을 제시하였다. 이 연구는 분산제어 방식을 사용하는 CSMA/CA의 contention resolution 방안을 활용하여 fairness를 얻고 있다. [12]에서는 무선 환경에서 기지국과 이동단말기 간의 channel이 각기 다른 여러 특성을 가진

의로써 발생하는 문제점을 해결하고자 하였다. 채널에러에 의해 일정 시간동안 패킷이 소실/지연되는 경우 이러한 연결은 그 시간동안 fairness를 얻지 못하는 short-term fairness 손상 문제가 발생한다. 이 연구는 전송이 지연된 연결의 channel이 정상화 되었을 때 이에 대한 bandwidth를 추가로 할당하여 short-term fairness 손상문제를 최소화하였다. 그러나, 이 연구는 기지국이 모든 channel의 error 유무를 즉시 알 수 있다는 가정하에 이루어졌다. Sigle[14]등은 wireless MAC protocol에 self-clocked fair queueing(SCFQ)을 적용하고 이에 대한 성능을 보이고 있다. 이 연구에서는 TDMA/TDD 방식을 사용하고 있으나 이동단말기의 상태정보전달지연이 fairness에 미치는 영향이나 상향/하향링크의 통합적할당에 대한 검토가 이루어지고 있지 않다. 이에 반해, 본 연구는 무선환경에 fair queueing을 적용하는데 있어서 여러 이동단말기간 경쟁적 채널 할당과 기지국에서 이동단말기의 상태(예를 들면, 보낼 패킷의 존재 및 개수)에 대한 정확한 정보를 얻기 어렵다는 특성을 고려하였으며, short term fairness의 손상을 최소화하는 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 절에서는 TDMA/TDD 상에서 페이 큐잉을 상향/하향 링크에 통합적으로 적용한 점에 대해서 설명하고 3 절에서는 본 연구에서 제안한 무선 페이 큐잉 스케줄링 방식에 대하여 논한다. 4 절에서는 수행한 모의 실험 환경과 결과를 보인다. 마지막으로 5 절에서 결론을 맺는다.

II. 상향/하향 링크 통합 스케줄링

본 연구에서 고려하는 무선 TDMA/TDD 시스템에서는 그림 1에서와 같은 TDMA/TDD 프레임 구조를 가지는 것으로 가정하며 하나의 frame은 mobile terminal(MT)에서 base station(BS)으로 전송하는데 사용되는 상향 subframe과 BS에서 MT로 전송하는데 사용되는 하향 subframe으로 구성된다. 각각의 subframe은 연속적인 슬롯들로 구성되며, 각 슬롯은 하나의 고정된 크기의 패킷을 전송하는데 사용된다. 기지국의 스케줄러는 하향 트래픽에 대해 하향 subframe에 속하는 슬롯중에서 fair queueing 알고리즘에 따라 적절히 슬롯을 할당하며 상향 트래픽에 대해서는 어느 무선단말기가 어떤 슬롯을 사용하여 패킷을 전송할 것인지를 결정한다. 또, 각 슬롯은 각 MT들의 contention을 위하여 필요에 따라 다수의 미니슬롯(minislot)으로 사용될 수 있다고 가정하였다. 미니슬롯은 하나의 슬롯을 분할하여 MT로부터 BS로 제어정보만을 전송하는 역할을 한다.

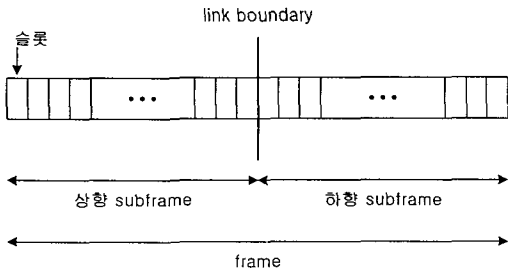


그림 1. 가정된 TDMA/TDD 구조

Uplink와 downlink subframe의 크기(슬롯의 수로 표시)가 고정되어 있다고 가정할 경우, 기지국의 스케줄러는 그림 2와 같

이 간단히 표현할 수 있다. 상향링크와 하향링크에 해당하는 subframe은 그 크기가 변하지 않기 때문에 상향 스케줄러와 하향 스케줄러는 서로 영향을 미치지 않으면서 상호 독립적으로 fair queueing 스케줄링을 수행한다. 이 경우 상향링크나 하향링크를 통한 전송요구량이 주어진 전송용량에 미치지 못할 경우에는 해당 링크의 효율성이 떨어지게 된다. 이를 위해 본 연구에서는 상향 링크와 하향 링크 subframe간의 경계선을 상향 혹은 하향 트래픽의 변화에 따라 적응적으로 조정하도록 하였다. 본 논문은 이를 상향/하향 통합 스케줄러라고 부르기로 한다.

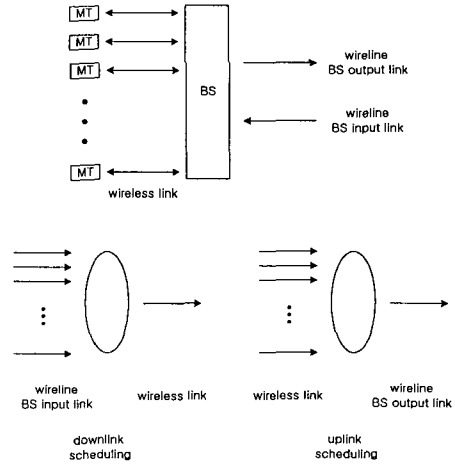


그림 2. BS상에서의 일반적인 스케줄링 모델

상향/하향링크 통합 fair queueing 스케줄러의 개발을 위해서는 상향트래픽의 상태를 정확하게 예측하는 것이 매우 중요하다. 상향트래픽의 상태를 잘 반영하는 정보로는 이동단말기의 큐길이를 들 수 있으며 이와 관련된 최신의 정보가 기지국에 신속히 전달되는 것이 필요하다. 그림 3은 이러한 정보가 기지국에 전달되었다는 가정하에서 기지국에서의 fair queueing 스케줄러의 모형을 나타내고 있다. 그림 3에서 uplink input은 이동단말기로부터 보내 온 정보를 토대로 추정된 상향트래픽을 가상적으로 표시한 것이다.

이동단말기의 상태정보, 예를 들면, 큐길이를 기지국에 전달하기 위해서 본 연구에서는 contention-based access 방식을 사용하는 것으로 가정한다. 이동단말기의 상태정보 전달에 사용되는 contention 슬롯은 기존 연결의 서비스품질을 만족시키는 한 가능하면 많은 슬롯을 할당함으로써 단말기의 상태정보가 신속히 전달되도록 하는 것이 필요하다. 이것이 가능하도록 하기 위해 본 연구에서는 contention 슬롯의 할당 또한 요구되는 서비스품질(예를 들면, 최소보장대역폭과 허용최대전송지연)을 만족시켜야 하는 하나의 연결로 취급할 수 있도록 한다. 즉, 기지국의 fair queueing 스케줄러는 contention 슬롯의 할당과 다른 연결용 슬롯의 할당에 있어서 fair queueing 입장에서 동일하게 취급하도록 한다. 따라서 상향트래픽에는 이동단말기가 생성하는 데이터패킷 외에 이동단말기의 상태정보를 전달하기 위해 발생하는 트래픽 또한 반영하여야 한다. 그림 3에서 contention virtual input은 이 상향트래픽을 가상적으로 표시한 것이다. 현재 본 연구에서는 상향 트래픽의 양을 추정하기 위해서는 MT의 queue에 있는 패킷 개수를 이용하며 이는 MT가 미니슬롯에 contention을 할 때에 전달된다. 또, fair queueing 알고리즘에 필요한 정보로써 MT의 queue에 제일 앞에 자리한

패킷의 arrival time도 같이 전달된다. 이러한 contention에 보내지는 제어 정보를 그림 4에 보였다.

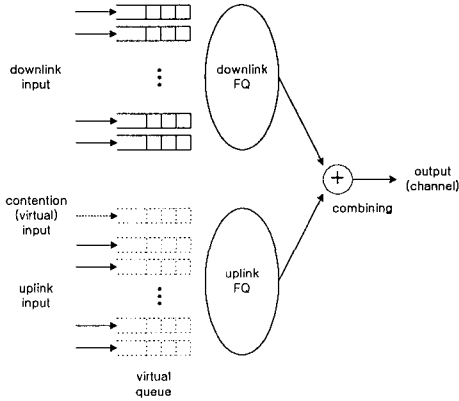


그림 3. 제안하는 TDMA/TDD 상에서의 fair queueing model

packet 개수 (MT의 queue 길이)	MT queue의 최초 packet의 arrival time	... etc. (MT주소 같은 일반적 정보들)
-----------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

그림 4. MT에서 BS로 contention시에 전송되는 주요 정보들

III. 무선 페어큐잉 스케줄링

본 연구는 가능한한 모든 fair queueing 스케줄링 방식에 적용될 수 있는 일반적인 방안을 찾고자 하였으며 실제 적용의 예는 구현 복잡도는 높으나 패킷 페어 큐잉이므로서 가장 정확한 WFQ이다. 본 논문에서는 지면 관계상 이 WFQ에 자체에 대한 설명은 생략한다.

상향 하향 링크의 패킷 전송 시간(한 frame내의 전송되는 slot 위치로도 볼수 있다)의 결정은 frame 시작 시간 전의 정보만을 가지고 결정되며 실제 frame 시간 동안 변하는 정보는 처리하지 못한다. 상향 링크의 경우, 유선에서는 패킷이 도착하는 시점을 기준으로 페어 큐잉을 적용하지만 무선의 경우는 아직 도착하지 않은 패킷의 전송을 결정해주어야 하는 큰 차이점이 있다. 이에 본 연구에서는 미니슬롯을 통해 전송되어온 정보를 이용하여 가상의 패킷 도착 시간을 계산하여 사용하며 다음과 같다.

첫 패킷 arrival time = MT queue에 첫 패킷의 도착(발생)시간
 다음 패킷 arrival time += 첫 패킷 arrival time + 평균 interarrival time
 (평균 interarrival time = 1 / (bandwidth * weight))

무선 페어 스케줄링에서는 앞서 언급한 바와 같이 정확한 패킷 생성시간을 모르고 스케줄링 해주기에 다수의 전송 지연 시간이 발생할 수 있으며 이는 작은 시간 단위에서의 공평성이 어긋나는 단기 공평성 문제가 발생할 수 있다. 그러나, 이보다 더 심각하게 단기 공평성 문제를 발생시킬 수 있는 것이 collision에 의한 전송 지연이다. MT에서는 이미 패킷이 전송을 대기하고 있으나, 계속되는 collision으로 전송이 안될수 있다. 이 점은 유선에서의 패킷 스케줄링에서 간과한 점이다. 본 연구에서

는 contention 방식을 사용하여 collision을 인정하며 거둬되어 발생될 수 있는 collision후 전송에 성공한 전송요구 패킷(미니 슬롯으로 전송되어 오는 제어정보를 가진 패킷)을 스케줄러가 받은후 공평성이 어긋나지 않는 범위내에서 최대한 빨리 전송될수 있게 슬롯을 할당해 주는 방안을 제시하며 다음과 같다.

C_i :	connection i
FS_i :	한 frame에 C_i 에 할당되는 slot 개수 $FS_i = \text{frame당 slot 수} * \text{weight}_i$
B_i :	C_i 의 buffer의 양 (slot 단위)
PT_i :	C_i 의 buffer의 첫 packet의 생성 시간
CT_i :	현재 frame 시작 시각
A_i :	추가 전송량 $A_i = \max(0, \min(\text{ceil}((PT_i - CT_i) * FS_i), B_i))$
R_i :	실제로 한 frame에 할당된 양
D_i :	FS_i 보다 더 많이 할당된 양 $D_i = R_i - FS_i$ If ($B_i == 0$ && $D_i < 0$) $D_i = 0$
S_i :	각 C_i 에 frame에 기본적으로 할당될 slot 수 $S_i = \max(0, FS_i - D_i)$
Step 1)	모든 C_i 들의 A_i 를 계산하여 할당
Step 2)	나머지 packet들에게 fair queueing algorithm 적용

위의 제안된 방식은 페어 큐잉에서는 각 connection은 weight를 가진다는 점을 이용하여 한 frame에 할당될 수 있는 fair share(FS)양 만큼을 각 connection에 할당해 주며 이들 connection의 전송 요구양이 작아서 할당 가능한 슬롯이 있는 경우에, 단기 공평성 문제를 해결 하기 위해서 전송이 지연된 connection에게 먼저 슬롯을 할당해주는 방식이다. 이 때 원래의 페어 큐잉 스케줄링 방식을 사용하는 것은 전송이 지연된 패킷들의 arrival time이 이를 수록 먼저 할당하게 될것이며 이때 장기공평성과 단기 공평성이 손상되지 않도록 weight에 따라서 처리해 주기 때문이다. 즉 원래의 페어 큐잉 알고리즘의 결과를 최대한 근사한 결과를 얻어서 이의 순서대로 처리해주는 것이다.

IV. 모의실험 및 성능평가

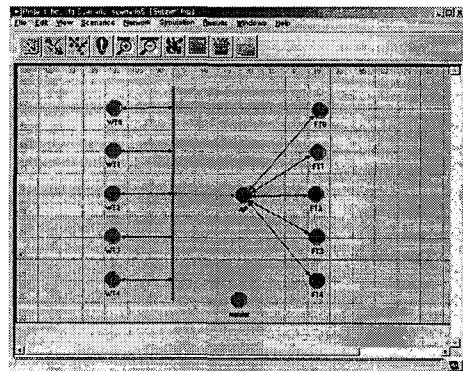


그림 5. 모의실험 환경

OPNET 7.0을 이용하여 그림 5와 같은 모의 실험 환경에서 단기 공평성의 예를 단적으로 보여주는 각 패킷의 전송 지연시간을 실험결과로 얻었다. 무선 터미널은 WT로 유선 터미널은 MT로 표현하였으며 1 Mbps 링크에 같은 번호의 유선 무선 터미널로 전송하게 하였다. 한 frame은 40개의 slot으로 구성되며 패킷은 1000 bits의 크기이며 패킷은 poisson 분포로 발생시켰다. 각각의 평균 전송율과 주어진 weight는 표1과 같다. 그림 6과 그림 7에서는 무선 터미널에서 발생된 패킷들이 유선 터미널에 도착하는데 걸리는 전송 지연시간을 보이고 있다 (100, 104의 수는 0~4의 무선 패킷의 도착을 의미한다). 그림 6은 무선 패킷 큐잉 스케줄링을 적용안한 경우이고, 그림 7은 적용한 경우이다. 두 경우다 상향/하향 복합 스케줄링은 적용하였다. 이 결과로 보아 전송 지연 시간의 차이가 무선페어 스케줄링을 도입함으로써 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

표 1. 각 터미널의 모의실험 변수

	weight	평균 전송율
WT0, FT0	0.2	160 kbps
WT1, FT1	0.1	80 kbps
WT2, FT2	0.1	80 kbps
WT3, FT3	0.05	40 kbps
WT4, FT4	0.05	40 kbps

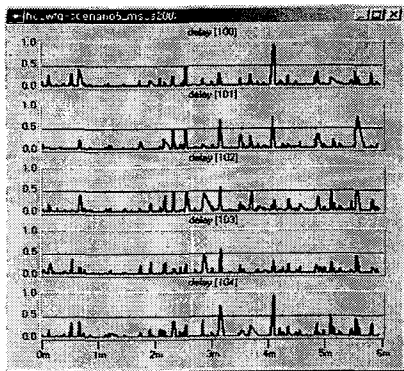


그림 6. 무선 페어 큐잉을 적용 안한 경우

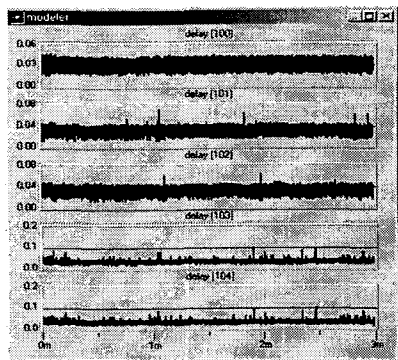


그림 7. 무선 페어 큐잉 스케줄링을 적용한 경우

V. 결론

유선환경을 기반으로 연구되어 오던 fair queueing을 무선에 적용하는데 있어서 가장 큰 문제점은 무선 단말기의 queue 정보가 collision에 의해서 언제나 실시간에 fair queueing algorithm에 전달되지는 않는다는 점이다. 본 연구는 불완전한 정보로 자원을 할당하게 되어 발생할 수 있는 fairness의 붕괴를 막기 위한 wireless fair queueing scheduler를 개발하였다. Scheduler는 기존의 fair queueing algorithm 방식에 따른 할당 단계와 collision에 의해서 늦게 전송되어 오는 패킷을 가용한 자원이 있을 때 fairness를 유지하는 범위 안에서 최대한 빨리 할당해 주는 두 단계로 나누어 개발하였다.

TDMA-TDD 환경에서 상향/하향 링크에 각각 fair queueing algorithm이 적용되던 것을 통합하여 동적으로 상향/하향 링크의 경계선을 정할 수 있는 subframe 경계선 결정 방안을 개발하였다.

본 연구에서는 좀더 일반적인 환경에서의 모의실험과 알고리즘에서 제한 없는 weight를 사용할 수 있는 알고리즘 개발이 추후 과제이다.

참고문헌

- [1] A. Parekh and R. Gallager, "A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single node case," *IEEE/ACM Trans. Networking*, 1(3):344-357, June 1993
- [2] Hui Zhang, "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 83, No. 10, pp. 1374 - 1395, Oct. 1995
- [3] Jon C.R. Bennet and Hui Zhang, "WF2Q: Worst-case Fair Weighted Fair Queueing," *Proceedings of the IEEE infocom'96 The Conference on Computer Communications*, V.1, 1996
- [4] R. Fantacci and S. Nannicini, "Performance Evaluation of a Reservation TDMA Protocol for Voice/Data Transmission in Microcellular Systems," *IEEE JSAC*, Vol. 18, No. 11, pp. 2404 - 2416, Nov. 2000.
- [5] L. Musumeci, P. Giacomazzi, and L. Fratta, "Polling- and Contention-Based Schemes for TDMA-TDD Access to Wireless ATM Networks," *IEEE JSAC*, Vol. 18, No. 9, pp. 1597-1607, Sep. 2000.
- [6] J. Mikkonen, et. al., "The Magic WAND - Functional Overview," *IEEE JSAC*, Vol. 16, No. 9, pp. 953 - 972, Aug. 1998.
- [7] M. C. Yuang and P.L. Tien, "Multiple Access Control with Intelligent Bandwidth Allocation for Wireless ATM Networks," *IEEE JSAC*, Vol. 18, No. 09, pp.1658 - 1669, Sep. 2000.
- [8] S. J. Golestani, "A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications," *IEEE INFOCOM'94*, July 1994
- [9] L. Zhang, "Virtual Clock: A new traffic control algorithm for packet switching networks," in *ACM SIGCOM 90 Proceedings*, 1990
- [10] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm," in *ACM SIGCOM 89 Proceedings*, 1989
- [11] Thyagaran Nadagopal, Tae-Eun Kim, Xia Gao, and Vaduvur Bharghavan, "Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packet Networks," *ACM Mobicom*, pp. 87 - 98, August 2000
- [12] Songwu Lu, Vaduvur Bharghavan, and Rayadurgam Srikant, "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 7, No. 4, pp. 473 - 489, Aug. 1999
- [13] Vaduvur Bharghavan, Songwu Lu, and Thyagarajan Nandagopal, "Fair queueing in Wireless Networks: Issues and Approaches," *IEEE Personal Communications*, pp. 44 - 53, Feb. 1999
- [14] Rolf Sigle, Thomas Renger, "Fair Queueing Wireless ATM MAC Protocols," *Proceedings of the Ninth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications V.1*, pp. 55 - 59, 1998