

무선랜에서 성능 향상을 위한 Backoff 알고리즘 분석

Analysis of Backoff Algorithm for Performance Improvement in WLAN

임석구*

백석대학교

Lim seog-ku*

Baekseok Univ.

요약

본 논문에서는 IEEE 802.11 WLAN의 MAC인 DCF의 성능을 개선하는 알고리즘을 제안하고 이를 해석적으로 분석한다. IEEE 802.11 WLAN의 MAC에서는 데이터 전송을 제어하기 위한 방법으로 DCF와 PCF를 사용하며, DCF의 경우 CSMA/CA를 기반으로 한다. DCF는 경쟁 스테이션이 적은 상황에서는 비교적 우수한 성능을 보이나 경쟁 스테이션의 수가 많은 경우 처리율, 지연 관점에서 성능이 저하되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 패킷 전송 후 충돌이 발생하면 윈도우 값을 최대 CW로 증가시키고 패킷의 정상적인 전송 후에는 윈도우 값을 서서히 감소함으로써 패킷 충돌 확률을 낮추는 알고리즘을 제안하고 이를 수학적으로 분석한다. 제안하는 알고리즘의 효율성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 그 타당성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, MAC(Medium Access Control) algorithm for the IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) improving the performance is proposed and analyzed mathematically. The MAC of IEEE 802.11 WLAN to control data transmission uses two control methods called DCF and PCF(Point Coordination Function). The DCF controls the transmission based on CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). The DCF shows excellent performance relatively in situation that competition station is less but has a problem that performance is fallen from throughput and delay viewpoint in situation that competition station is increased. This paper proposes an enhanced DCF algorithm that increases the CW to maximal CW after collision and decreases the CW smoothly after successful transmission in order to reduce the collision probability by utilizing the current status information of WLAN. To prove efficiency of proposed algorithm, a lots of simulations are conducted and analyzed.

I. 서론

IEEE 802.11은 무선랜(Wireless LAN) 시장의 급격한 성장과 함께 현재 가장 널리 사용되고 있는 무선랜의 표준 기술 중 하나이다. 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 사용자의 요구가 증가함에 따라 WLAN[1]을 구현하기 위한 규격인 IEEE 802.11이 1999년에 처음 발표되었고 2.4GHz대와 5GHz대의 무선 주파수를 사용하여 다양한 전송 속도를 지원하는 제품이 출시되었다. 이중 현재는 Direct Sequence(DS) 대역 확산 기법을 이용하여 최대 11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b 표준이 가장 많은 시장을 구축하고 있다.

IEEE 802.11 WLAN MAC에서는 무선채널을 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 사용한다. IEEE 802.11 WLAN의 기본적인 액세스 방법으로 사용하는 DCF의

경우 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 하여 모든 스테이션(Station)이 동등한 관계에서 경쟁을 통해 채널을 사용하게 된다.

DCF의 기본적인 동작 방식에서 전송할 패킷이 있는 스테이션은 DIFS(Distributed Interframe Space가 경과된 후 백오프 스테이지 0 (Backoff Stage 0)에서 경쟁 윈도우(Contention Window)를 최소 경쟁 윈도우 크기(CW_{min})로 초기화하고 백오프 카운터(Backoff Counter)를 $[0, CW_{min}]$ 의 범위에서 랜덤(Random)하게 선택한다. 1 슬롯시간(Slot Time) 동안 채널이 사용되지 않음을 감지한 스테이션은 백오프 카운터를 1씩 감소시키고 슬롯의 시작시점에 백오프 카운터가 0인 스테이션은 패킷 전송을 시작한다. 만약 충돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 스테이션은 백오프 스테이지를 1씩

증가시키며 경쟁 윈도우를 두 배씩 증가시키고 백오프 카운터를 재설정 한다. 패킷 전송에 성공한 스테이션은 백오프 스테이지와 경쟁 윈도우를 초기화한다. DCF는 경쟁하는 스테이션의 수가 많을수록 충돌이 발생할 가능성이 증가하여, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행 되어왔다[3]-[10].

본 논문에서는 전송이 성공적으로 이루어졌을 경우 Backoff Contention 범위를 CW_{min} 값으로 되돌리지 않고 반으로 줄이고 또한 충돌이 발생하면 Backoff Contention 범위를 CW_{max} 값으로 증가시키므로써 충돌에 대한 확률을 적게 하여 무선자원의 효율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 해석적으로 분석하며, 시뮬레이션을 이용하여 그 성능을 검증한다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 제안된 알고리즘을 설명하고 이를 수학적으로 분석한다. III장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 포화수율 관점에서 분석하고 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 백오프 알고리즘

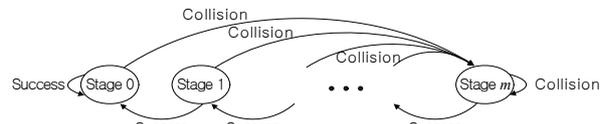
제안하는 알고리즘은 기존 DCF에서 사용하는 세 개의 매개변수, 즉 백오프 스테이지(Back-off Stage), 백오프 카운터(Back-off Counter), 경쟁 윈도우(Contention Window, CW)를 사용하고 있으며, 각 변수의 기능은 기본 DCF와 유사하다. DCF 방식에서 프레임 전송을 위해 사용되는 경쟁 윈도우의 크기가 전송 프레임의 충돌 여부에 의해 결정되는 것과 달리, 제안하는 알고리즘의 경쟁 윈도우는 이전 프레임의 전송 성공과 충돌 여부에 의해 결정된다.

제안하는 알고리즘은 충돌이 발생하면 CW 를 최대 경쟁 윈도우인 CW_{max} 값으로 증가시켜서 각 단말이 중복된 백오프 카운터를 선택할 가능성을 줄임으로써 충돌이 발생할 가능성을 최소화하며, 패킷을 성공적으로 전송한 경우에는 CW 를 CW_{min} 값으로 급격하게 줄이지 않고 현재 값의 반으로 줄임으로써 경쟁 단말 수가 적은 경우 백오프에 의한 지연을 줄이는 장점이 있다. 또한, 제안하는 알고리즘은 기 제안된 GDCF나 EGDCF와 같이 연속적인 전송 성공을 집계하는 계수가 없이도 성능을 높일 수 있는 방안이다. 제안하는 알고리즘에서 백오프 스테이지 i 에서의 경쟁 윈도우 크기 W_i 는 다음과 같이 결정된다.

$$W_i = \begin{cases} CW_{max} & \text{if collision} \\ \max(CW_{i-1}/2, CW_{min}) & \text{if success} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, CW_{min} 과 CW_{max} 는 각각 최소 및 최대 경쟁 윈도우 크기를 나타낸다. 각 단말은 전송하는 프레임의 백오프

카운터를 $[0, W_i - 1]$ 에서 균등하게 선택하여 설정하고, 휴지 상태인 백오프 슬롯을 감지할 때 마다 1씩 감소시키고 백오프 카운터 값이 0이 되면 프레임을 전송한다. (그림 1)에는 제안하는 알고리즘의 충돌-해결 과정을 나타내었다.



▶▶ 그림 1. 제안하는 알고리즘의 충돌-해결 과정

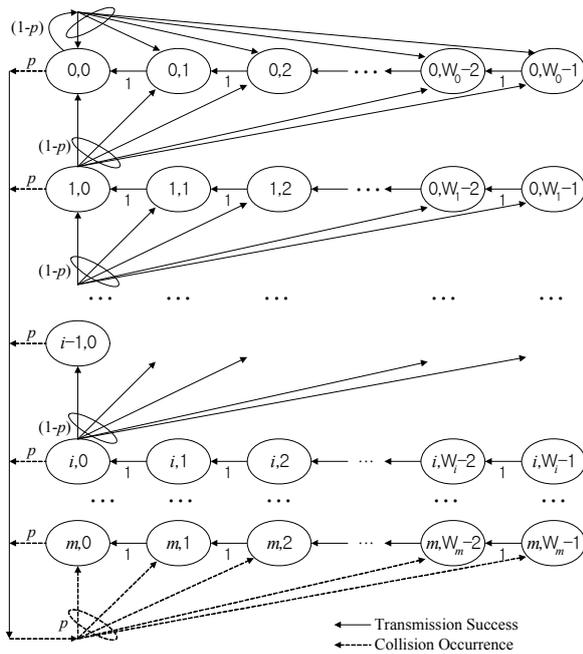
현재 전송할 프레임에 대한 백오프 스테이지는 이전 프레임의 백오프 스테이지 값과 전송 결과, 즉 성공 또는 실패(충돌)에 따라 결정된다. 이전 프레임이 백오프 스테이지 i 에서 전송에 성공한 경우, 현재 전송할 프레임에 대한 백오프 스테이지는 $(i - 1)$ 로 설정된다. 그러나 이전 백오프 스테이지 i 에서 시도한 프레임 전송이 실패(또는 충돌)하는 경우, 현재 전송할 프레임에 대한 백오프 스테이지는 CW_{max} 로 설정하여 충돌이 발생하면 다음 프레임 전송에서는 최대 크기의 경쟁 윈도우를 사용하여 충돌확률을 낮춤으로써 충돌-해결을 시도한다.

Bianchi는 2차원 마코프 체인(Markov Chain)을 이용한 DCF의 성능 평가 모델을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다[4][5]. 이를 이용하여 제안하는 알고리즘의 포화상태 수율을 분석하기 위해 n 개의 단말이 존재하고 각 단말은 프레임 전송을 성공적으로 마친 시점에 전송하고자하는 새로운 프레임을 가지고 있다고 가정한다. $s(t)$ 와 $b(t)$ 를 임의의 시간 t 에서 단말의 백오프 스테이지와 백오프 카운터 값을 나타내는 랜덤 프로세스라고 하면, 제안 알고리즘에 대한 동작은 2차원 마코프 체인 $\{s(t), b(t)\}$ 으로 나타낼 수 있으며,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P[s(t) = i, b(t) = j] = b_{i,j} \quad (2)$$

로 정의하면 정상 상태에서의 마코프 체인은 (그림 2)와 같이 나타낼 수 있다. 전송한 프레임이 충돌할 확률을 p 라 하면, 마코프 성질을 이용하여 다음과 같이 조건부 확률을 이용하여 상태 천이 확률을 구할 수 있다.

$$\begin{cases} P[i, k | i, k+1] = 1 & k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \\ P[0, k | 0, 0] = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) \\ P[i-1, k | i, 0] = (1-p)/W_i & k \in (0, W_{i-1} - 1) \quad i \in (1, m) \\ P[m, k | i, 0] = p/W_m & k \in (0, W_m - 1) \quad i \in (0, m) \end{cases} \quad (3)$$



▶▶ 그림 2. 제안 알고리즘의 마코프 체인 모델

이를 바탕으로 마코프 체인의 규칙성을 따르면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$b_{i,0} = \frac{p}{(1-p)^i} b_{0,0} \quad (0 < i < m) \quad (4)$$

$$b_{m,0} = p \sum_{j=0}^m b_{j,0} = \frac{p}{(1-p)^m} b_{0,0}$$

마코프 체인의 규칙성에 따라 각 $k \in (0, W_i - 1)$ 에 대해서 $b_{i,k}$ 는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m), \quad k \in (0, W_i - 1) \quad (5)$$

따라서 관계식 (4)와 (5)에 의해서 $b_{i,k}$ 의 모든 값들은 $b_{0,0}$ 와 조건부 충돌확률 p 의 함수로 표현된다. 마지막으로 $b_{0,0}$ 는 모든 구간에서의 확률값을 더하면 1이 된다는 조건을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$1 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \quad (6)$$

식 (6)에서 $b_{i,0}$ 는 식 (4)를 사용하여 산출할 수 있으며, W_i 는 IEEE 802.11b 표준에 의하면 DSSS인 경우 $m' = 5$ 이므로 다음과 같다.

$$W_i = \begin{cases} 2^i W_0 & i \leq m' \\ 2^{m'} W_0 & i > m' \end{cases} \quad (7)$$

단말이 프레임 전송을 시도할 확률 τ 는 $b_{i,0}$ ($i \in [0, m]$)에 있을 확률을 모두 더한 것이 되고 따라서 τ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \left(\frac{1}{1-p} \right)^m b_{0,0} \quad (8)$$

하나의 전송 패킷이 충돌할 확률 p 는 나머지 $(n-1)$ 개의 스테이션 중에서 적어도 하나 이상이 전송을 시도할 확률과 같으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} \quad (9)$$

식 (8)과 (9)는 두 개의 미지수를 갖는 비선형 시스템이며, 수치해석적인 방법을 이용하여 해를 구할 수 있다.

P_{tr} 을 임의의 슬롯시간에 최소한 하나 이상의 단말이 패킷을 전송할 확률이라고 하면, 무선채널 상에서 n 개의 단말이 경쟁하고 있기 때문에 각 단말은 확률 τ 로 전송을 시도한다.

$$P_{tr} = 1 - (1-\tau)^n \quad (10)$$

확률 P_s 는 적어도 하나 이상의 단말이 패킷을 전송할 조건에서 성공적으로 패킷을 전송할 확률이라고 하면 다음과 같다.

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1 - (1-\tau)^n} \quad (11)$$

$E[P]$ 를 평균 페이로드 크기라고 하면, 성공적으로 패킷을 전송하는데 소요되는 슬롯시간의 평균은 $P_{tr} P_s E[P]$ 로 나타낼 수 있다. 슬롯이 비어 있을 확률은 $1 - P_{tr}$, 전송에 성공할 확률은 $P_{tr} P_s$, 충돌이 발생할 확률은 $P_{tr}(1 - P_s)$ 이다. 정규화 수율 S 는 전송성공과 충돌, 그리고 백오프 시간이 차지하는 시간과 페이로드 전송시간의 비율로 정의할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr}(1 - P_s) T_c} \quad (12)$$

여기서 T_s 는 패킷을 성공적으로 전송하는 데 소요되는 평균 시간이며, T_c 는 패킷 충돌에 의해 낭비되는 평균시간을 나타낸다. σ 는 빈 슬롯시간의 길이이다.

DCF의 기본 액세스 방법과 RTS/CTS 액세스 방법의 경우 성공적으로 전송한 패킷의 평균 시간 T_s 와 충돌에 의해 소비된 평균시간 T_c 에 의해서 정규화 수율 S 가 다르게 나타난다. 패킷의 헤더를 $H(=PHY_{hdr} + MAC_{hdr})$ 로 나타내고 δ 를 전파지연이라고 하면 기본 액세스 방법에 대한 T_s 와 T_c 값은 식 (13)과 같다.

$$T_s^{bas} = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \quad (13)$$

$$T_c^{bas} = H + E[P^*] + DIFS + \delta$$

여기서 $E[P^*]$ 는 충돌 시 가장 긴 패킷 페이로드의 평균 길이이다. 대부분의 경우 모든 패킷의 길이는 동일한 크기를 가지므로 $E[P] = E[P^*] = P$ 임을 가정한다.

III. 시뮬레이션 및 성능 평가

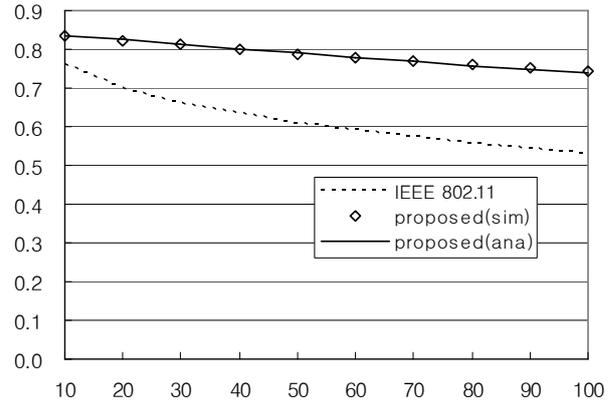
제안하는 알고리즘의 수학적 모델을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 포화수율 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 SLAM II을 사용해서 Event-Driven 방식으로 구현하였다[12].

수학적 모델의 평가와 시뮬레이션 수행에 필요한 시스템 파라미터는 DSSS(Digital Sequence Spread Spectrum)를 가정하였으며, <표 1>과 같다[7]. 패킷 Payload 크기를 8184bit로 고정하였고 채널 속도는 2Mbps로 가정하였다. 또한 시뮬레이션을 위해 CW의 최소값(CW_{min})과 최대값(CW_{max})은 각각 32, 1024로 하고 재전송 한계값을 7로 설정하였다. 시뮬레이션 환경은 각 스테이션이 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 포화상태를 가정하였으며, 전송에러에 의한 재전송은 고려하지 않았다.

[표 1] 시스템 파라미터(802.11 DSSS)

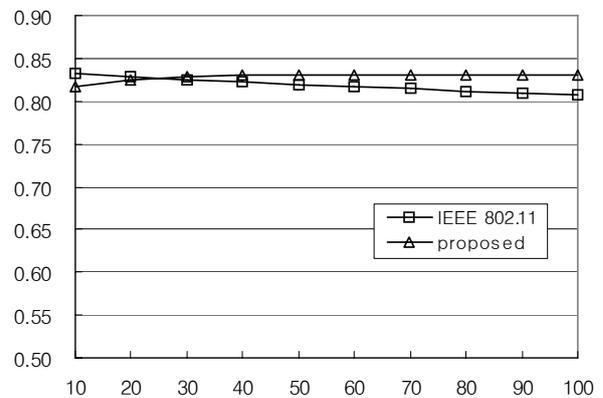
파라미터	값
Packet payload	8184 bits
MAC overhead	272 bits
PHY header	128 bits
ACK	112bit + PHY header
RTS	160bit + PHY header
CTS	112bit + PHY header
채널속도	2 Mbps
전파지연시간	1 μ sec
Slot Time	20 μ sec
SIFS	10 μ sec
DIFS	50 μ sec
CW_{min}	32
CW_{max}	1024
ACK_Timeout, CTS_Timeout	300 μ sec
재전송 한계값	7

(그림 3)은 Basic Access 경우 스테이션의 수의 증가에 따른 포화수율 (Saturation Throughput)을 802.11 DCF와, 제안 알고리즘을 비교하여 나타낸 그래프이다. 제안하는 알고리즘의 포화수율이 802.11 DCF에 비해 매우 높음을 알 수 있다. 또한 802.11 DCF인 경우 스테이션 수가 클수록 포화수율이 급격히 감소하지만, 제안 알고리즘의 경우 서서히 감소하는 것을 알 수 있다.



▶▶ 그림 3. 기본 액세스에서의 포화수율

(그림 4)는 같은 환경에서 RTS/CTS Access의 경우에 대한 그래프이다. 이 경우에서는 포화수율의 차이가 크게 나타나지 않으나, 제안하는 알고리즘이 스테이션의 수가 작은 경우에는 성능이 떨어지며, 스테이션의 수가 30 이상인 경우에는 포화수율이 높음을 알 수 있다. RTS/CTS Access의 경우 충돌에 의한 채널 효율이 패킷의 크기에 영향을 받지 않고, Basic Access 경우보다 충돌에 의한 채널 낭비가 크지 않기 때문에 평균 패킷 크기가 큰 환경과 충돌 확률이 높은 환경에서 채널 효율을 높일 수 있다.



▶▶ 그림 4) RTS/CTS 액세스에서의 포화수율

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 IEEE 802.11 DCF에서 성공적인 패킷 전송 후에 CW를 CW_{min} 으로 급격히 감소시키지 않고 서서히 감소시키고, 충돌이 발생하면 CW를 CW_{max} 로 증가시키는 새로운 알고리즘을 제안하고 이를 수학적으로 분석하였다. 제안한 알고리즘은 스테이션이 많은 환경에서 스테이션간의 충돌 확률을 낮게 하여 채널 효율을 높일 수 있음을 확인할

수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 진행할 향후 연구과제로는 수율과 지연시간에 대한 수학적 성능 분석을 진행할 것이다. 또한 멀티미디어 트래픽 환경에 제안한 방식을 적용하기 위해 우선순위가 서로 다른 다양한 트래픽에 대한 적정 파라미터에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] The Editors of IEEE 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, Nov. 1997.
- [2] Y. Xiao, "An Analysis for Differentiated Services in IEEE 802.11 and IEEE 802.11e Wireless LANs", Proc. In ICDCS 2004. pp. 32-39.
- [3] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, 2000.
- [4] G. Bianchi, "IEEE 802.11 Saturation Throughput Analysis," IEEE Communication Letters, Vol. 2, No. 12, pp. 318-320, Dec. 1998.
- [5] Y. Xiao, J. Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," IEEE Communication Letters. Vol. 6, No 8, pp. 355-357, Aug. 2002.
- [6] Y. Kwon, Y. Fang, and H. Latchman, "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs," Proc. IEEE INFOCOM'03, Vol. 2, pp. 853-862, April. 2003.
- [7] C. Wang and Bo Li, "A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 53, No. 14, July 2004.
- [8] M. Y. Chung, M. S. Kim, T. J. Lee, Y. Lee, "Performance evaluation of an enhanced GDCF for IEEE 802.11," IEICE Trans. Comm., Vol. E88-B, No. 10, pp. 4125-4128, Oct. 2005.
- [9] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, V. Vitsas, "Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11a wireless LANs," IEEE Electronic Letters, Vol. 40, No. 14, pp. 915-916, July 2004.
- [10] B. Raffaele, C. Marco, "IEEE 802.11 Optimal performances: RTS/CTS mechanism vs. basic access," Personal, indoor and mobile radio communication, the 13th IEEE International symposium on, Vol. 4, Sept. 2002.
- [11] L. Kleinrock and F. Tobagi, "Packet switching in radio channels, Part-II The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple Access Models and the Busy Tone Solution", IEEE Trans. Communication, Vol. 23, No. 12, pp. 1417-1433, Dec. 1975.
- [12] A. Alan B. Pritsker, "Introduction to Simulation and SLAM II", John Wiley & Sons, 1986.