

실측 데이터를 통한 네트워크 선로 이용율과 응답시간의 관계 분석

서상현*, 최영수*, 정진욱*
*성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부
e-mail : shseo@songgang.skku.ac.kr

Analysis of Corelations between Network Line Utilization and Response-Time Based-on Real Environment Data

Sanghyeon Seo*, Youngsu Choi*, Jin-Wook Chung*
*School of Electric and Computer Engineering, SungKyunKwan University

요 약

이 논문에서는 네트워크 성능을 파악할 수 있는 관리 정보 중의 하나인 선로 이용율과 응답시간의 관계 분석을 위해 실험 네트워크를 구축하고, 패킷 생성기와 SNMP 데이터 수집기를 구현하였다. 그리고 분석 결과가 사용자에게 일정 응답시간 이내의 서비스를 제공하는 동시에 네트워크 자원을 경제적으로 유지하기 위한 지침으로 활용될 수 있도록 선로 이용율과 응답시간의 관계를 분석한다.

1. 서론

인터넷의 빠른 보급과 맞물려 소규모 LAN 단위의 인터넷 이용자들이 큰 폭으로 증가하고 있다. 국내 상황을 고려해 보면 일명 게임방 혹은 PC 방이 그 예라 하겠다. 이런 소규모 LAN 은 ISP(Internet Service Provider)로부터 일정 대역폭의 전용선을 임대해서 인터넷에 연결된다.

전용선의 대역폭은 이용자와 시스템의 증가, 응용 트래픽의 변화(텍스트 위주에서 동화상, 음성 등의 멀티미디어 트래픽의 변화) 등으로 인해 포화 상태에 이르게 되고, 결국 이용자들은 느린 응답시간에 대해 불만을 가지게 된다. 네트워크 설계 과정에서 용량 계획에 의해 충분한 대역폭의 전용선을 확보했다 하더라도, 시간이 경과되면서, 네트워크 사용자들의 느린 응답시간에 대한 잦은 불만으로 인해 전용선의 대역폭을 증설하는 등의 네트워크 재구성을 고려해야 할 상황에 처하게 된다. 인터넷 이용자의 증가와 응용 트래픽의 변화 추세를 고려할 때, 네트워크 재구성 주기는 더욱 짧아질 것으로 예상된다.

네트워크 재구성 과정에서 전용선 대역폭을 결정할 때, 네트워크 관리자 입장에서는 기존의 전용선을 최대한으로 이용하고자 한다는 점과 네트워크 이용자 입장에서는 빠른 응답시간을 요구한다는 점을 고려해야 한다. 관리자 입장 혹은 이용자 입장으로 편중되면, 전자의 경우는 지나친 응답시간으로 인해 사용자들에게 적절한 서비스 품질을 제공할 수 없게 되고, 후자의 경우는 자원의 낭비나 과잉 투자 또는 잦은 네트워크 재설계를 초래할 가능성이 높다.

이러한 상황에서, 이 논문에서는 그 결과가 사용자에게 일정 응답시간 이내의 서비스를 제공하는 동시에 네트워크 자원을 경제적으로 유지하기 위한 지침으로 활용될 수 있도록 선로 이용율과 응답시간의 관계를 분석하고자 한다.

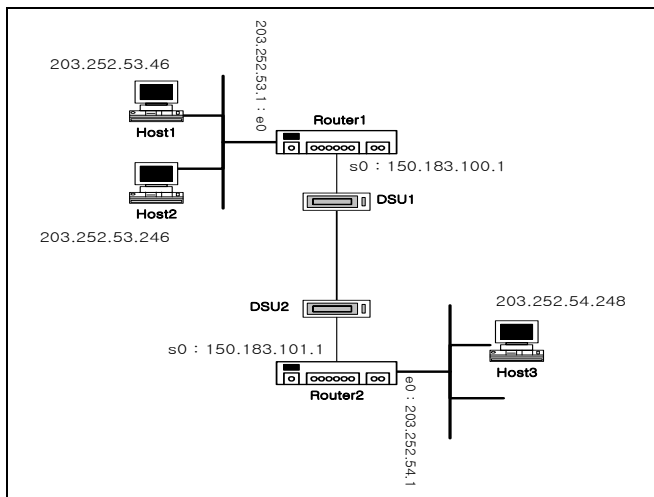
선로 이용율과 응답시간의 관계를 분석하기 위해, 이 논문에서는 소규모의 실험 네트워크 환경을 구성하고, 선로 이용율을 임의로 조정할 수 있는 패킷 생성

성기와 SNMP 를 지원하는 데이터 수집기를 구현하였다. 그리고 응답시간을 측정하기 위해서 Window 98 에 포함된 PING 을 사용하였다.

2 장에서는 실험을 위한 테스트 환경에 대해 알아보고, 3 장에서는 실험 과정과 결과를 알아본다. 마지막으로 4 장에서는 이 연구의 결론과 향후 연구 계획에 대해 설명한다.

2. 실험 환경

연구를 수행하기 위한 실험 환경으로 라우터 2 대, DSU 2 대, PC 3 대로 구성된 [그림 1]과 같은 실험 네트워크를 구성하였으며, 실험에 사용된 장비에 대한 자원원 [표 1]과 같다. 실험은 패킷 생성, 선로 이용률 측정, 응답시간 측정 절차를 통해 선로 이용률과 응답시간의 관계를 분석한다. 각 절차에는 패킷 생성기 (PGClient/PGServer), 네트워크 관리정보 수집기 (Collector), 네트워크 진단 프로그램(PING)이 각각 사용되었다.



[그림 1] 실험 네트워크 구성

[표 1] 실험 네트워크 구성 장비 자원

장비 유형	제품명	자 원		비고
라우터	Cisco 2501 Series	메모리	2048 K bytes	2 대
		커널	IOS V 11.2 ROM V 5.2	
		인터페이스	56Kbps serial (2) 10Mbps Ethernet	
호스트	Intel Pentium II	CPU	300MHz	3 대
		메모리	64MBytes	
		HDD	5GBytes	
DSU	GoldStar GSD-56 LD	인터페이스	56Kbps RS-232C	2 대
			56Kbps Tel	

2.1 패킷 생성(PGClient/PGServer)

패킷 생성 절차는 선로 이용율을 일정 수준으로 유지하는 과정이며, 이때 사용된 패킷 생성기는 PGClient/PGServer 로 구성되며 전송 계층에서 패킷 발생을 수행한다. PGServer 의 기능은 PGClient 가 송신하는 UDP 패킷을 수신할 수 있는 UDP 서버로 동작하고, PGClient 의 선택 사항에 따라 수신한 UDP 패킷을 에코함으로써 양방향 패킷 생성 기능도 포함하고 있다.

UDP 프로토콜을 이용하는 이유는, 패킷 생성이 응용 계층에서 쉽게 수행될 수 있다는 점과 그 특성상 TCP 에 비해 핸드-셰이크 오버헤드가 없고, 재전송 메커니즘을 사용하지 않기 때문에 보다 정밀하고 고속으로 패킷 생성이 가능하다는 점 때문이다.

PGClient 는 전체 선로 대역폭과 선로 이용률에 따라, 단위 패킷을 얻고자 하는 이용률만큼 단위 시간 내에 발생시킴으로써 선로 이용율을 일정 수준으로 유지한다. PGClient 가 응용 계층에서 패킷을 생성하는 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다.

- B : 선로 대역폭 (bytes/sec)
- L : 선로 이용률 (%)
- b : 단위 대역폭 (bytes/sec)
- $= B/100$
- p : 단위 패킷, 초당 단위 대역폭으로 전송 가능한 최대 크기의 패킷
- $= b$ (bytes)
- N : 단위 시간당 발생 패킷 수

라고 하면

선로 이용률 L 을 Δt 시간 동안 유지하기 위해 단위 패킷을 n 개 발생시킨다.

$$L = \frac{p \times n}{B \times \Delta t} \times 100 \text{ ----- 식 1)}$$

이때 PGClient 가 선로 이용률 L 을 유지하기 위해 단위 시간 동안 발생시켜야 하는 단위 패킷의 수 N 은 식 1)을 정리함으로써 구할 수 있다.

$$\frac{n}{\Delta t} = \frac{B \times L}{p \times 100} = L = N$$

즉, 단위 패킷 p 를 단위 초당 N 개 전송함으로써 대역폭 B 인 선로의 선로 이용률을 $L\%$ 로 유지한다.

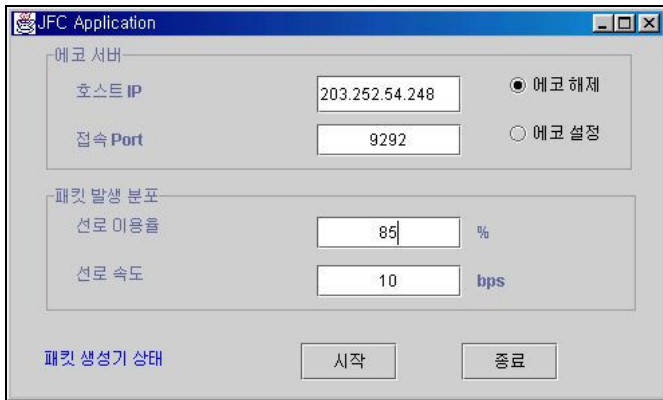
그런데 PGClient 는 응용 계층에서 UDP 데이터그램을 통해 패킷을 발생시키는 방식을 사용하고 있다. 따라서 응용 계층의 사용자 데이터는 단위 패킷 p 보다 작다. PGClient 가 생성하는 단위 패킷의 사용자 데이터 크기는

$$\begin{aligned}
 userdata &= p - (\text{linkOH} + \text{ipOH} + \text{udpOH}) \\
 &= p - (\text{linkOH} + 28)
 \end{aligned}$$

이다.

LinkOH 는 링크 계층 프로토콜의 오버헤드를 의미하며, 링크 프로토콜에 의존적이다. ipOH 는 IP 헤드 20 바이트를, udpOH 는 UDP 계층의 헤드 2 바이트를 각각 의미한다.

따라서 PGClient 는 선로 이용율을 L 로 유지하기 위해 userdata 크기의 사용자 데이터를 단위 시간당 N 개의 UDP 데이터그램을 PGServer 로 전송한다.



[그림 2] 패킷 생성기 PGClient GUI

[그림 2]는 패킷 생성기 PGClient 의 GUI 를 보인 것이다. PGClient/PGServer 는 순수 JAVA 로 작성되었으며, 플랫폼 독립적이다.

2.2 선로 이용율 측정(Collector)

선로 이용율 측정 절차는 선로 이용율의 변화를 분석하는 과정이며, 이때 데이터 수집기 Collector 가 사용된다. Collector 는 순수 JAVA 로 작성되었으며, 자체 개발한 SNMPv1.jar 를 엔진으로 사용한다. Collector 는 플랫폼에 독립적이며 SNMPv1 을 완벽하게 지원한다.

[그림 3]은 Collector 의 GUI 를 보여주고 있으며, 부가적으로 임의의 MIB 변수를 필요한 시점에 테스트 할 수 있는 기능도 제공한다.

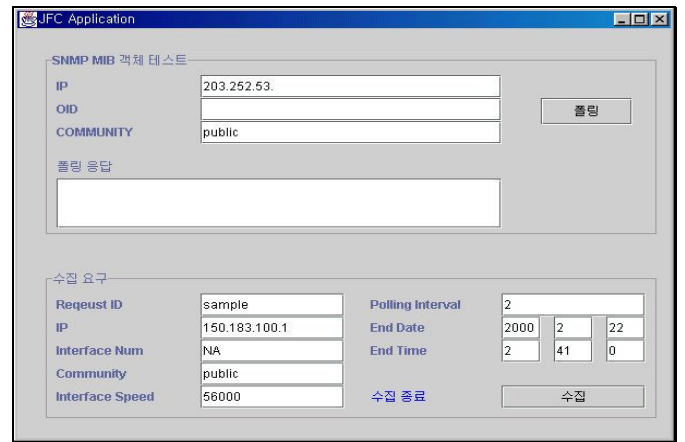
선로 이용율 변화를 분석하기 위해, [표 2]의 MIB 변수를 파라미터로 사용하였다. 선로 이용율은 선로의 대역폭을 기준으로 선로의 유통바이트량을 백분율로 나타내는데, 선로의 유형(전이중방식/반이중방식)에 따라 각기 다른 공식을 적용했다. 선로 이용율 계산 공식을 아래와 같이 적용하였다. 이 연구에서는 선로 이용율과 응답시간의 관계 분석을 위해 선로 이용율의 변화에 따른 인터페이스의 폐기 패킷을 동시에 측정한다. 그 이유는 선로 이용율이 증가하면서 출력 버퍼에 더 이상의 패킷을 버퍼링하지 못하고 폐기하게 될

것이고, 폐기된 패킷으로 인해 응답시간 지연은 가중될 것이기 때문이다.

FDU: 전이중방식 선로 이용율
 HDU: 반이중방식 선로 이용율

$$FDU = \frac{\text{MAX}(\Delta \text{ifInOctets}, \Delta \text{ifOutOctets}) \times 8}{\Delta \text{sysUpTime} \times 100 \times \text{ifSpeed}}$$

$$HDU = \frac{(\Delta \text{ifInOctets} + \Delta \text{ifOutOctets}) \times 8}{\Delta \text{sysUpTime} \times 100 \times \text{ifSpeed}}$$



[그림 3] 데이터 수집기 Collector 의 GUI

[표 2] 선로 이용율 변화 분석 파라미터

MIB 그룹	변수명	설명
system	sysUpTime	시스템 가동후 경과된 시간을 나타내는 TimeTick
interface	ifInOctets	프레이밍 문자를 포함한 인터페이스에 도착한 전체 옥텟 수를 나타내는 카운터
	ifInDiscards	에러는 없지만 버퍼 오버플로우 등의 이유로 상위 계층에 전달되지 못하고 버려지는 패킷의 수를 나타내는 카운터
	ifOutOctets	프레이밍 문자를 포함한 인터페이스에 도착한 전체 옥텟 수를 나타내는 카운터
	ifOutDiscards	에러는 없지만 버퍼 오버플로우 등의 이유로 전송되지 못하고 버려지는 패킷의 수를 나타내는 카운터

2.3 응답시간 측정(PING)

응답시간 측정 절차는 네트워크 구간 사이의 응답을 측정하는 과정으로, Windows98 에 포함된 PING 명령어로 네트워크 구간 응답시간을 구한다. 본 연구에서 구간 응답시간을 측정하기 위해

```
C:\>PING hostIP -l 0 -n 1500 -w 3000
```

명령을 사용하였으며, 사용 옵션 설명은 [표 3]과 같다.

[표 3] 응답시간 측정에 사용된 PING 옵션

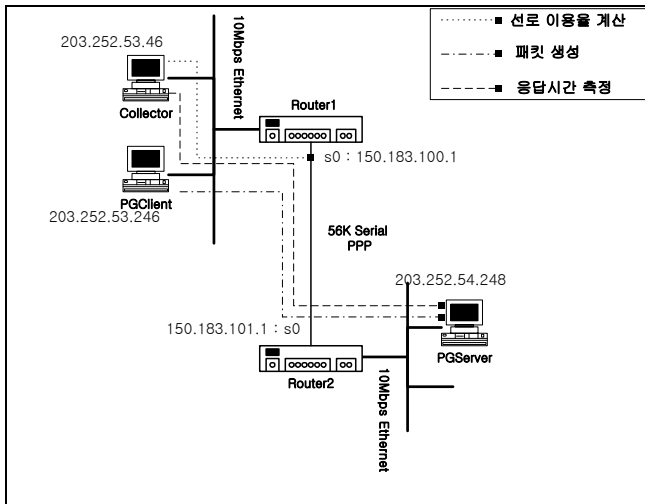
사용 옵션	설 명
-l 0	에코 요청 메시지를 0 바이트로 설정
-n 1500	1500 개의 에코 요청 메시지 생성
-w 3000	에코 응답을 최대 3 초 동안 대기

3. 실험 및 고찰

실험에서 패킷 생성기 PGClient 는 선로 이용율을 일정 수준을 유지하다가 점진적으로 증가하도록 패킷을 발생시키고, Collector 는 선로 이용율/ 폐기 패킷 수를 수집하였다. 그리고 [표 3]에 설명된 옵션으로 PING 을 통해 구간 응답시간을 측정하였다.

3.1 실험 방법

실험은 [그림 2]에 나타난 바와 같이 수행하였다.



[그림 4] 실험 네트워크 환경에서의 실험 과정

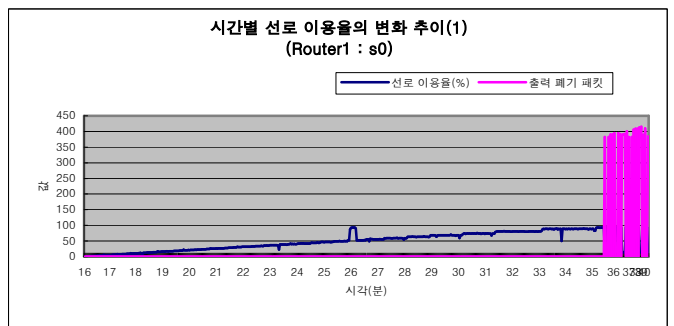
① PGClient 는 PGServer 로 패킷을 발생시킨다. 이때 PGClient 는 선로 이용율을 1% 단위로 10 초 동안 유지한 이후 점진적으로 1% 단위로 최대 150%까지 증가시킨다. 여기서 150%의 의미는 Router1 의 s0 에 대역폭을 과부하를 걸어, 폐기 패킷을 발생시키기 위함이다. 이때 트래픽을 PGClient 에서 PGServer 쪽으로만 발생시키게 되는데, 이렇게 함으로써 선로 이용율과 응답시간의 관계 분석을

단순화했다.

- ② Collector 는 라우터 Router1 의 s0 에 1500 초 동안 2 초 간격으로 폴링을 수행하여 인터페이스 s0 의 선로 이용율과 출력 폐기 패킷 수를 수집한다.
- ③ PING 으로 Collector 에서 PGServer 로 1500 초 동안 1 초 간격으로 에코 요청을 수행해서 측정된 응답시간을 수집한다.

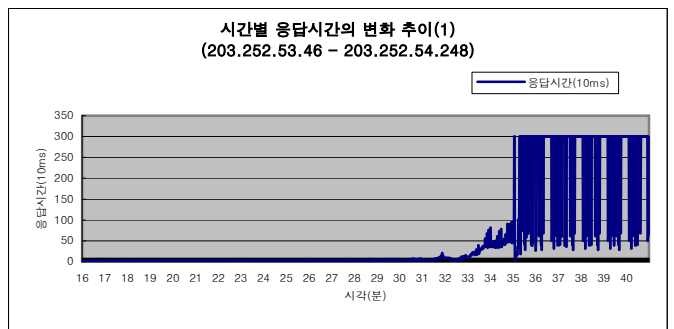
3.2 실험 결과 및 고찰

이전 절의 실험에 의해 수집된 데이터를 시간별로 그 변화 추이를 살펴보면 다음과 같다. [그림 5]는 실험 방법 ②의 결과이고, [그림 6]은 ③의 결과이다.



[그림 5] 시간별 선로 이용율 변화 추이(1)

[그림 5]로부터 알 수 있는 것은 34 분 시점의 이용율 90%까지 출력 폐기 패킷이 발생하지 않았다는 것과 선로 이용율이 90%를 초과한지 대략 1 분 이후부터 출력 폐기 패킷이 급격히 발생했다는 사실이다.

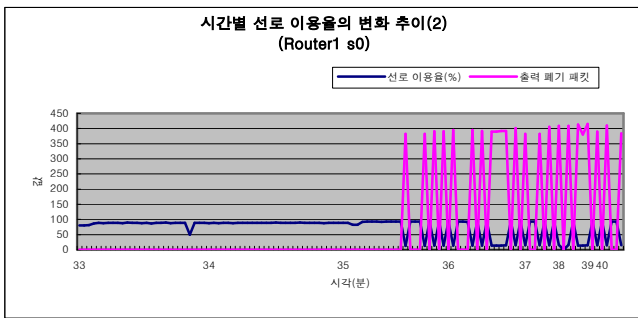


[그림 6] 시간별 응답시간 변화 추이(1)

[그림 6]으로부터 알 수 있는 것은 34 분 시점까지 응답시간에 대한 변화가 거의 없다는 사실과 대략 1 분 이후부터 응답시간이 급격히 증가했다는 사실이다.

위의 사실을 바탕으로 선로 이용율 대략 90% 이하로 유지될 경우는 선로 이용율이 응답시간에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나 90% 이상의 높은 이용율이 계속될 경우 인터페이스의 출력 버퍼가 오버플로우 되면서, 패킷을 폐기하게 되고, 결국 심각한 응답시간 지연을 초래하게 될 것이라는 결론을 얻을 수 있다.

[그림 7]과 [그림 8]은 각각 [그림 5]와 [그림 6]에서 선로 이용율과 응답시간이 급격히 변화한 33 분 이후의 내용을 좀 더 자세히 표현한 것이다. 또 여기서 알 수 있는 것은 출력 폐기 패킷이 발생하는 시점과 이용율, 응답시간이 순간적으로 낮아지는 시점이 일치한다는 사실과 출력 폐기 패킷이 최초 발생한 시점의 선로 이용율 이상의 부하가 걸릴 경우 그 부하만큼의 폐기 패킷이 발생한다는 사실이다.



[그림 7] 시간별 선로 이용율 변화 추이(2)

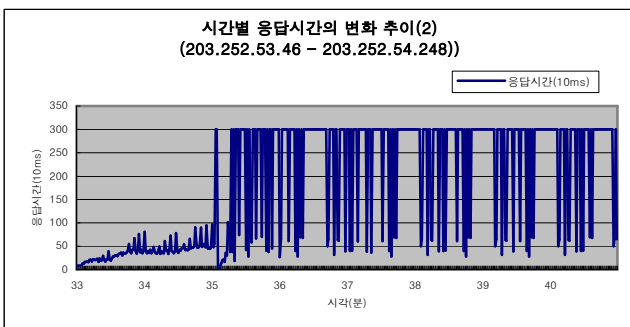


그림 8] 시간별 응답시간 변화 추이(2)

4. 결론 및 향후 연구 계획

전이중방식의 시리얼 선로의 이용율은 대략 90% 이하로 유지될 경우는 선로 이용율이 응답시간에 거의 영향을 미치지 않지만, 90% 이상의 높은 이용율이 계속될 경우 인터페이스의 출력 버퍼가 오버플로우 되면서, 패킷을 폐기하게 되고 낮은 응답시간을 초래한다. 그리고 출력 폐기 패킷이 발생하는 시점과 이용율, 응답시간이 순간적으로 낮아지는 시점이 일치하며, 출력 폐기 패킷이 최초 발생한 시점의 선로 이용율 이상의 부하가 걸릴 경우 그 부하만큼의 폐기 패킷이 발생한다.

향후 양방향으로의 선로 이용율, 입력 폐기 패킷, 출력 폐기 패킷, 응답시간을 고려해서 좀 더 세밀한 분석을 해볼 필요가 있다고 본다. 그리고, 패킷 생성기를 트래픽 특성에 따라 패킷을 발생시키기 위해 트래픽 특성에 관한 연구가 필요하다. 마지막으로, 사용자가 느끼는 응답시간 지연에 따른 서비스 레벨을 어떻게 결정해야 할 것인가에 관한 연구가 필요하겠다.

참고문헌

- [1] John Blommers, "Practical Planning for Network Growth", Prentice Hall PTR, 1995
- [2] Priscilla Oppenheimer, "Top-Down Network Design", Macmillan Technical Publishing, 1999
- [3] Laura Chappell, "Introduction to Cisco Router Configuration", 1999
- [4] William Stallings, "SNMP, SNMPv2, SNMPv3 and RMON 1 and 2", Addison-Wesley, 1999
- [5] Sanjay K.Jha, Bruce R.Howarth, "Capacity Planning of LAN Using Network Management", Local Computer Networks, 1994. Proceedings., 19th Conference on , 1994 , Page(s): 425 -430
- [6] K.M.Khalil, J.C.Hand, M.Mariswamy, "Analysis and Traffic Characterization of A Wide Area Network", Communications, 1993. ICC '93 Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on Volume: 3 , 1993 , Page(s): 1829 -1835 vol.3
- [7] Lazarus Vekiarides, David Finkel, "NETCAP:A Tool for the Capacity Planning of Ethernet LANs", Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 1998. Proceedings. Sixth International Symposium on , 1998 , Page(s): 198 -203
- [8] 안성진, 정진욱, "SNMP MIB-II 를 이용한 인터넷 분석 파라미터 계산 알고리즘에 관한 연구", 정보처리학회, 제 5 권 제 8 호, page 2102-2116, 1998