

3차원 영상기법을 이용한 천장골염의 조기 진단

전재한* · 김선일** · 이두수*

= Abstract =

The Application of 3-dimensional Surface Imaging to the Early Detection of Sacroiliitis

Jae Han Jeon*, Sun I. Kim**, Doo Soo Lee*

In the early stage of sacroiliitis, it is difficult to detect sacroiliac(SI) abnormalities by conventional plain X-ray even though there are characteristic symptoms of ankylosing spondylitis. 3 dimensional volume rendering from the CT image was performed to make an early detection of the structural changes of SI joint. 2 cases who had clinical impression of ankylosing spondylitis without sacroiliitis in plane X-ray and 1 case of typical ankylosing spondylitis as well as 1 case of normal control were studied. The SI joints were separated and each joint surface of sacrum and ilium was independently reconstructed by a special 3D manipulation program. All 2 patient who complained of inflammatory lower back pain with no abnormal findings in the plain X-ray showed structural changes in 3 dimensionally reconstructed surface image of the SI joint compared to the normal control. Authors tried several parameters, such as fourier analysis of each surface and the mean and variance of SI joint gap. We couldn't tell the statistical significance because of the limited number of cases. However, the parameters showed difference according to the progression of disease.

서 론

천장관절염(sacroiliitis)은 강직성 척추염(ankylos-

ing spondylitis)의 대표적인 병변이다. 강직성 척추염은 혈청음성 척추 관절염(sero negative spondylarthritis, 발병율: 미국의 경우 전체 인구 대비 0.5-1%로 추정하고 있음)의 대표적인 질환으로, 천장관절염과 척추염을 특징으로 하는 만성 염증 질환이다. 이러한 강직성 척추염의 진단은 일반적인 임상학적 증상(염증성 요통, 요추 운동 장애 혹은 흉부 확장 장애)과 X-선상의 천장관절염의 이상유무를 기준으로 하여 이루어지고 있다.[1] 그러나, 강직성 척추염은 인식의 부족으로 인하여 기계적 요통이나 다른 질환으로 오인하기 쉬우며, 특징적인

<접수: 1993년 3월 17일>

* 한양대학교 공과대학 전자공학과

Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University.

** 한양대학교 의과대학 계량의학교실

Dept. of Medical Information and Management, Hanyang Univsity.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 91-01-00-04)의 지원으로 이루어 졌음.

증상이 있더라도 천장관절염이 없는 경우에는 강직성 척추염으로의 진단이 곤란하다. 그런데, 천장관절염은 천골(sacrum)과 장골(illium)의 접합관절면에 염증이 생김으로써 천장관절의 접합관절면에 구조적인 변화가 생기는데, 천골과 장골이 서로 밀착되어 있어 초기상태인 경우에는 일반 X-선 촬영으로는 진단이 어려우며, CT(Computed Tomography) 화상의 경우도 2차원의 단면화상이므로 3차원적으로 전체적인 관절면의 구조변화를 관찰하는 데는 부족하다. 이렇듯 아직까지 천장관절염의 조기 진단이 쉽지 않아 강직성 척추염의 조기 진단에 적합한 진단 기준이 미흡한 실정이다. 이에, 천장관절염의 조기 진단을 위해, 현재까지 사용되어 오던 단순 X-선 사진 대신 CT 화상[2]을 3차원적으로 구성한 후 이를 분석해 보았다. 통상 일반 X-ray에 의한 진단이 전문의의 오랜 경험과 훈련에 의해 직관적으로 이루어지듯이, 3차원적 구성(volume rendering)을 통해 천장관절면을 가시화(visualization)하여 시각적으로 진단을 한다. 그러나, 이러한 시도가 이전에 전혀 없었고, 또한 새로운 판단기준을 만들 필요가 있으므로 부가적으로 몇가지 객관적이고 공학적인 평가치(parameter)를 도입하였다.

천장관절염에 의한 천장관절의 구조적 변화는, 초기에는 피질(cortex)의 침식과 연골 밑 부분의 경화로 인해 뼈 표면이 거칠어지다가, 광범위한 피질의 침식에 의해 관절 부분이 조금 넓어지고, 더 진행되면 골성화된 재생 조직들에 의해 돌출된 부위가 생기게 된다. 이 돌출부들이 확장되면서 관절이 다시 좁아지게 되고, 결국 양쪽 뼈가 연결된 부분이 생기다가 두 뼈가 붙어 버린다.[3] 그러므로, 접합관절면의 표면 상태와 관절 사이의 간격 상태를 분석하면, 천장관절염의 유무와 상태의 심한 정도를 알 수 있으리라는 가정하에 본 연구를 시도하였다.

천장관절에 대한 CT 화상을 워크스테이션(SUN SPARK II system)의 입력으로 하여, 천장골의 주위 연조직을 제거한 후 천골과 좌우 장골의 화상을 분리하여 각각 독립적으로 3차원 입체물체로 재구성한 다음, 관절에 해당하는 뼈의 표면 데이터를 분석하여 관절의 상태를 파악하였다. 이 전체 처리 과정을 <그림 1>에 요약하여 나타내었다.

2 전처리 과정

관절 상태를 평가하기 위해서, 우선 천골과 장골의 관절 부분에 해당하는 표면 데이터를 추출해내야 한다. CT 촬영 장치로 부터 나오는 데이터[2]를 이후의 처리에 편리하도록 xyz 공간에서 순차적인 구조로 변환시킨 다음, 각 CT화상으로 부터 천골(sacrum)과 장골(illium)을 추출해낸다. 그리고, 추출해낸 천골과 장골의 화상으로 부터 윤곽선을 구해내고, 그 중에서 관절부분의 표면만을 추출한다.

주위의 연조직을 제거하여 천골과 장골을 추출하는 방법으로는 세그먼테이션(Segmentation) 기법[4]을 사용한다. 세그먼테이션 기법이란, 화면상의 두 물체가 시각적으로 구분이 가능하려면 두 물체에 해당하는 화소(pixel)들 사이에 서로 구별될 수 있는 특성상의 차이가 존재해야 한다는 것에 기초하여, 각 특성이 일정한 범위내에 있는 화소들과 그렇지 않은 다른 화소들을 구분하는 방법이다. 즉, 화소의 특성이 추출하고자 하는 물체의 특성영역 내에 들어있는 그런 화소들만을 선택함으로써 물체를 분리해내는 것이다. 본 과정에서는 CT 화상에 있어서 뼈-천골과 장골-의 데이터 값이 주위의 연조직의 데이터 값들과 다르므로, 뼈의 데이터 값 범위 밖의 다른 화소들의 값을 0으로 만들어 천골과 장골만을 남긴다.

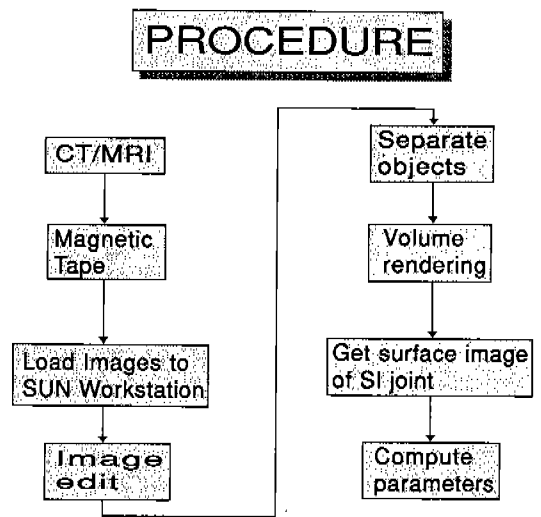


그림 1 전체 처리과정

Fig. 1 System block diagram

윤곽선 추출은, 윤곽선에 대해 4-connected neighbor 개념을 적용하여 4-connected neighbor 중에 데이터 값이 0인 화소가 있을때 이 화소를 윤곽선의 화소로 정의하고 이들 윤곽선에 해당하는 화소들만을 추출한다.

관절 부분의 표면 추출은, 관절을 양쪽 뼈 사이의 거리가 일정값 이하인 부분으로 정의하여 처리한다. 즉, <그림 4>에서 뼈가 맞물려 있는 양끝에서 부터 관절의 폭을 측정하여 일정값 이하가 되는 ①과 ② 두 부분사이를 관절 부분으로 선택한다.

<사진 1> 은 데이터를 재구성하여 컴퓨터 모니터에 표시한 천장관절의 2차원 단면들이고, <사진 2> 는 <사진 1>의 데이터를 처리하여 추출해낸 천골과 양쪽 장골의 2차원 단면들이며, <사진 3>은 주위의 연조직을 제거한 후 재구성한 천장관절의 3차원적 모습이다. [5][6][7] <사진 4> 는 천골과 장골을 분리시켜 각각을 독립적으로 3차원 입체물로 재구성한 다음, 컴퓨터 모니터에 적당히 배치하여 표시한 천골과 장골의 모습으로, 중간에 있는 것이 천골이며 좌우에 있는 것이 장골이다.

3. 구조 분석

전처리 과정에서 구한 관절 부분의 표면 데이터를 바탕으로 표면의 거친 상태와 돌출 부분의 존



사진 1 데이터를 재구성하여 컴퓨터에 입력시킨 천장관절의 화상

Photo 1 Computer display of sacroiliac joint CT image

재 여부, 관절폭의 상태를 평가하여 천장관절염의 진단을 한다. 표면 상태와 돌출 부분의 존재 여부는 양쪽 뼈에 대한 각각의 독립적인 평가로, 표면의 모양에 대한 주파수 성분을 구해 주파수 영역에서 평가하며, 관절폭의 상태는 관절폭에 대한 판단 방법 및 기준이 확립되어 있지 않은 상태에서 본 연구팀이 임의로 몇가지 파라미터들을 정의하여 적용을 시도해 본 것이다.

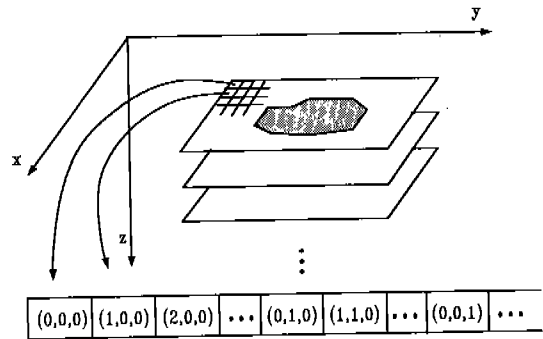
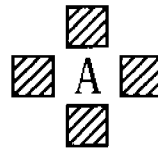


그림 2 xyz 공간에서의 순차적인 데이터 구조

Fig. 2 Successive data structure in xyz space



▨ : A의 4-connected neighbor

그림 3 4개의 이웃 관계점

Fig. 3 4-connected neighbors

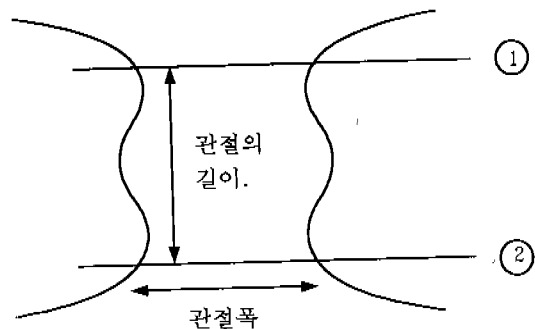


그림 4 관절의 길이 및 관절폭의 정의

Fig. 4 The definition of joint length and distance

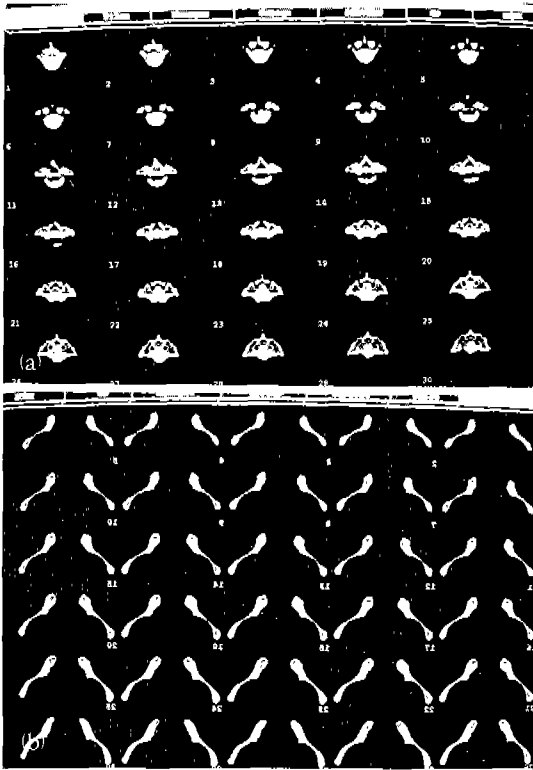


사진 2 추출해낸 천골(a)과 장골(b)의 화상
 Photo 2 The extracted images of sacrum(a) and ilium(b)

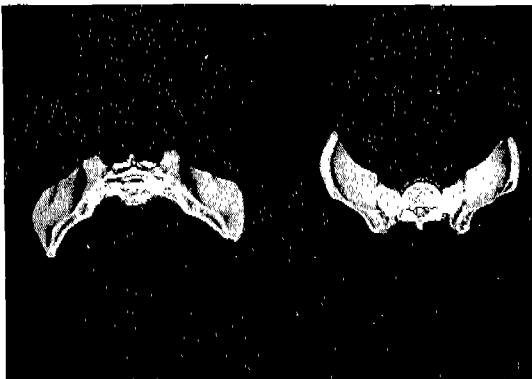


사진 3 연조직을 제거하고 천장골을 3차원적으로 재구성한 모습
 Photo 3 3 dimensional reconstructed image after the elimination of soft tissue



사진 4 천골과 장골을 각각 독립적인 3차원 입체물로 재구성한 모습
 Photo 4 3 dimensional reconstructed image of sacrum and ilium

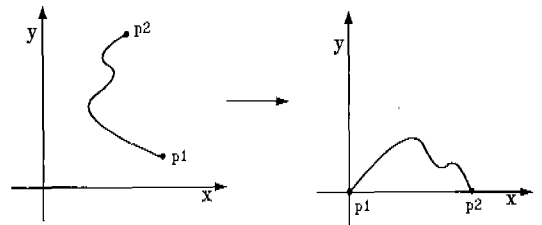


그림 5 데이터의 좌표변환
 Fig. 5 The coordinate transformation of joint surface data

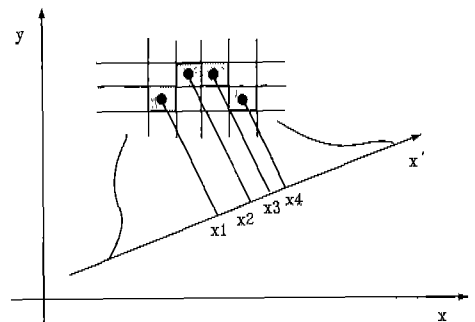


그림 6 x' 축으로 좌표변환을 했을 때의 입력수열의 간격
 Fig. 6 The arrangement of input data after the coordinate transformation to x' axis

3. 1 표면 상태와 돌출 부분 평가

천골과 장골의 관절면의 표면 상태를 평가하기 위해 표면구조의 주파수 영역에서의 특성을 관찰한다. 주파수 영역으로의 변환은 DFT(Discrete Fourier Transform)[4][8][9]를 사용하여 처리하는데, transverse 방향의 각 단면에 대해서 1차원 DFT를 한 후 이들의 ensemble average[10]를 구하여 이를 기준으로 진단을 한다.

DFT를 하기 위해서는 먼저 표면 데이터로부터 DFT 입력 수열을 구성해야 한다. 추출한 관절 부분의 표면 데이터로부터 각 화소의 좌표를 좌표 변환시켜, 관절의 양 끝점을 잇는 직선을 기준축으로 하는 수열을 구성한 후, 이 수열을 바탕으로 선형 보간법[11]을 사용하여 한 화소 간격으로 일정하게 샘플링된 수열을 재구성한다. 이 수열을 입력으로 하여 DFT를 한다. 관절의 양 끝점을 잇는 직선을 기준축으로 하는 수열을 구성하는 것은 DFT를 할때 양 끝의 값을 일치시켜야 하는 문제를 해결하기 위해서이며, 보간법을 사용하여 일정한 간격의 수열을 재구성하는 것은, DFT가 일정한 간격의 입력수열을 주파수 영역으로 변환시키는 변환 방법인데 반해 좌표 변환시킨 수열은 그 간격이 일정하지 않기 때문이다.

입력 수열을 $x[n]$, $0 \leq n \leq N-1$ 이라 하면, DFT 계수는

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] * e^{-j(2\pi/N)kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$(x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] * e^{-j(2\pi/N)kn}, \quad 0 \leq n \leq N-1)$$

이고, 주기가 $p = N/k$ 인 성분의 진폭은

$$\text{amp } F(n) = \frac{1}{N} (\text{amp } X[k] + \text{amp } X[N-k])$$

이다. k 가 0인 직류 성분의 경우는 그 크기가 $\text{amp } X[0]/N$ 이다.

이 DFT 결과로부터 표면 상태와 돌출 부분의 존재 여부에 대한 평가를 하게 되는데, 고주파 성분이 많이 포함되어 있으면 표면상태가 거칠을 알 수 있고, 중간 주파수 성분이 많이 포함되어 있으면

면 그 주파수에 해당되는 돌출 부분이 존재함을 알 수 있다.

3. 2 관절폭의 상태

천골과 장골의 접합 부분의 상호 관계를 분석하기 위해서 관절폭의 통계치를 구한다. 관절폭의 통계치는 관절의 폭에 대한 통계적인 계산을 하여 구하며, 관절폭을 L , 측정된 횟수를 N 이라 하면 평균과 분산은 다음과 같이 정의된다.[10]

$$\text{평균} = \frac{\sum L}{N}, \quad \text{분산} = E^2[L] - E[L]^2$$

평균값이 표준값 이하이면 이미 관절의 폭이 좁아져 있음을 알 수 있고, 관절폭이 0인 통계치들이 많으면 두 뼈가 연결된 부분이 있음을 알 수 있으며, 통계치들의 분산이 크면 이는 돌출 부분이 있을 가능성을 나타낸다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 한양대학교 부속 병원의 류마티스 센터에서 촬영한 3명의 강직성 척추염 환자의 1명의 정상인의 천장관절의 CT화상을 처리, 분석해 보았다. 환자 3명 중에서 2명은 증세가 가벼운 사람들로, 염증성 요통 등의 강직성 척추염의 특징적인 병변을 나타내지만 일반 X-선 사진이나 2차원 CT화상으로는 천장관절염의 진단이 불가능한 환자들이며, 1명은 증세가 심하여 일반 X-선 사진으로도 천장관절염을 진단할 수 있었던 환자이다.

양쪽 천장관절 중에서 왼쪽의 관절에 대한 처리 결과는 다음과 같다. 평가 대상자 중에서 정상인을 A, 증세가 가벼운 환자를 B와 C, 상태가 심한환자를 D로 표시한다. 그리고, DFT 결과는 ensemble average를 몇 개의 주파수 대역으로 나누어 그 대역내의 주파수 성분들의 크기를 합한 것이며, 주파수 성분의 크기는, 비교를 위해 그 값이 너무 작아 지지 않도록 원래의 크기에 DFT의 point수를 곱한 값을 사용했다.

A는 정상인이므로, A의 상태는 다른 사람의 상태를 평가하는 기준이 된다.

B의 경우는, 중간 주파수 성분이 미약하므로 돌

**** DFT 결과 ****

주 기	고 주 파		중간 주파수		직 류	
	2-3	3-4	8-10	10-20		
A	천골	48.3922	34.0395	29.4958	80.4047	101.724
	장골	46.7085	31.7950	20.4474	64.8855	111.154
B	천골	62.6244	35.9152	26.7839	70.5331	72.4673
	장골	57.6439	32.5824	32.6025	76.1959	92.7292
C	천골	52.8600	37.6199	25.0939	89.6554	173.499
	장골	62.1226	42.3136	45.1244	110.353	153.957
D	천골	59.4870	41.6729	45.7390	125.810	142.393
	장골	59.5351	41.2249	41.3722	110.902	171.838

○ 주기와 진폭의 단위는 화소이다.

**** 관절폭의 통계치 ****

	0	1	2	3	4	평균	분산
A	0	28	312	507	316	3.6458	2.7032
B	0	2	154	448	306	3.7023	2.8487
C	2	30	306	316	196	3.4918	3.1455
D	145	286	327	250	129	2.7609	5.5668

○ 관절폭의 통계치는 4가지만 사용한다.

출 부분은 없으나, 고주파 성분에서 주기가 2-3 화소인 성분이 강해 표면 상태가 거칠음을 알 수 있다. 그리고, 관절폭의 통계치들은 A와 비슷하다. 그러므로, B는 전형적인 천장관절염의 초기 상태에 해당된다.

C는, 천골은 표면 상태도 매끄러운 편이고 돌출 부분도 없지만, 장골은 표면 상태도 거칠고 돌출 부분도 많음을 알 수 있다. 그리고, 관절폭의 통계치를 보면 평균은 적정 상태를 유지하고 있으나, 분산이 조금 크고 관절폭이 0과 1인 부분이 조금 있어 부분적으로 관절폭이 좁아진 곳이 있음을 알 수 있다. 그러므로, C는 장골쪽의 연골은 이미 심한 침식을 당했으며 천골쪽의 연골의 침식이 시작되는 상태로, 이미 천장관절염이 어느 정도 진행된 경우로 판단된다.

D의 경우를 보면, A에 비해 천골과 장골이 모두 고주파 성분과 중간 주파수 성분이 강해 표면 상태가 거칠고 돌출 부분이 많아 울퉁불퉁하다고 판단된다. 관절폭의 평균이 작아 관절이 좁아져 있음을 알 수 있고, 분산이 큰 것은 돌출 부분이 많음을 뒷바침해 주고 있다. 그리고, 관절폭이 0인 부

분이 많아 이미 두 뼈가 연결된 곳이 많이 있음을 알 수 있다. 이는 전형적인 천장관절염의 말기 상태로 D는 상태가 아주 심한 환자임을 알 수 있다. 이와 같이 실험 결과는 임상 소견과 일치하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 CT 화상 자료를 입력으로 하여, 천장관절의 3차원적인 구조 분석을 통해 천장관절염의 진단을 해 보았다. 그 결과, 종래의 단순한 X-선 사진으로는 진단이 불명확했던 초기 상태의 환자에게서도 정량적인 병리적 변화를 발견할 수 있었다. 그러므로, CT 화상등을 사용하여 3차원적 구조 분석을 하면 천장관절염의 조기 진단이 가능하며, 따라서 강직성 척추염의 조기 진단이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 단지 4개의 경우에 대해서만 적용을 하였으므로 현재로서는 통계적인 의미를 부여할 단계는 아니지만, 앞으로 천골과 장골의 추출 방법을 개선하여 더 정확한 데이터를 얻게되면 더 정확한 진단을 할 수 있을 것이며, 파라미터 값들을 신경회로망등을 사용하여 패턴 분류를 하게 되면 진단 자체까지 자동화 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 김태환, 이인홍, 김병연, 배상철, 유대현, 박찬현, 김성윤, '강직성 척추염 78예의 임상적 고찰', 대한 내과 학회 잡지, 41권, 1호, pp. 73-80, 1991.
- 2) John G Webster, 'Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation', vol 2, pp. 826-848, Wiley.
- 3) Harrison, 'Principles of Internal Medicine', Vol 2, pp. 1451-1453.
- 4) Anil K Jain, 'Fundamentals of digital Image Processing', pp. 407-414, Prentice-hall.
- 5) R. A Robb, C Barillot, 'Interactive display and analysis of 3-D medical Images'. IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol 8, No 3, September 1989.
- 6) Jayaram K. Udupa and Gabor T. Herman, '3D Imaging in medicine', CRC Press, 1989.

- 7) Karl H, Hohne, Henry Fuchs and Stephen M. Pizer, '3D Imaging in medicine: Algorithms, Systems, Applications', NATO ASI Series, 1990.
- 8) Alan V Oppenheim, Ronald WSchafer, 'DISCRETE-TIME SIGNAL PROCESSING', Prentice-hall.
- 9) William H Press, Brian P Flannery, Saul A Teukolsky, William T Vetterling, 'Numerical Recipes in C', pp. 497-536, Cambridge university press.
- 10) Alberto Leon-Garcia, 'Probability and Random Processes for Electrical Engineering', Addison Wesley.
- 11) William H Press, Brian P Flannery, Saul A Teukolsky, William T Vetterling, 'Numerical Recipes in C', pp. 105-128, Cambridge university press.