

간 이식편의 체적 예측을 위한 2점 이용 간 분리

서 정 주[†] · 박 종 원^{††}

요 약

본 논문은 생체간이식 전에 복부 MDCT(Multi-Detector Computed Tomography) 영상에서 간 이식편의 체적을 간단하고 정확하게 계산하기 위하여 좌간과 우간을 나누는 방법을 제안하였다. 본 알고리즘은 기증자와 수혜자의 안전을 보장하기 위하여 시스템과 의료진의 상호작용을 최소화 하여 의료진이 수술 전 이식편의 판단을 정확하게 처리할 수 있도록 하였다. 간이 추출된 영상에 좌간과 우간을 나눌 수 있는 2점(중간정맥(MHV: Middle Hepatic Vein) 내부의 한 점과 좌우문맥(PV: Portal Vein) 분지부에서 한 점)을 선택한다. 선택된 중간정맥 내부의 점을 이용하여 중간정맥을 자동 인식한 후 중간정맥을 기준으로 절개선을 결정하여 문맥 분지부의 한 점을 연결하는 절개면을 형성한다. 좌간과 우간의 체적과 간 전체에 대한 좌우간의 비율을 계산한다. 계산된 체적의 정확성을 입증하기 위해 진단 방사선과 의사가 수동으로 처리하여 계산한 체적과 함께 수술 중 획득한 실측무게와 비교하였다. 실측무게와 수동으로 예측된 체적 사이의 오차에 대한 평균±표준편차는 $162.38\text{cm}^3 \pm 124.39$ 이고, 실측무게와 2점을 이용하여 예측된 체적과의 오차에 대한 평균±표준편차는 $107.69\text{cm}^3 \pm 97.24$ 이다. 실측무게와 수동으로 예측된 체적의 상관관계는 0.79이고, 실측무게와 2점을 이용하여 예측된 체적의 상관관계는 0.87이다. 그리고 2점을 선택한 후 좌우간을 분할하여 체적을 계산하는 시간을 측정하여 수술실에서 실시간으로 처리 가능한지의 여부를 확인하였다. 한 데이터세트(149.17pages±55.92) 당 처리 시간의 평균±표준편차는 $57.28\text{sec} \pm 32.81$ 이다.

키워드 : 생체간이식, MDCT 복부영상, 2점 이용 간 분할, 간 이식편의 체적 계산

Liver Splitting Using 2 Points for Liver Graft Volumetry

Jeong-Joo Seo[†] · Jong-Won Park^{††}

ABSTRACT

This paper proposed a method to separate a liver into left and right liver lobes for simple and exact volumetry of the liver graft at abdominal MDCT(Multi-Detector Computed Tomography) image before the living donor liver transplantation. A medical team can evaluate an accurate liver graft with minimized interaction between the team and a system using this algorithm for ensuring donor's and recipient's safe. On the image of segmented liver, 2 points(PMHV: a point in Middle Hepatic Vein and PPV: a point at the beginning of right branch of Portal Vein) are selected to separate a liver into left and right liver lobes. Middle hepatic vein is automatically segmented using PMHV, and the cutting line is decided on the basis of segmented Middle Hepatic Vein. A liver is separated on connecting the cutting line and PPV. The volume and ratio of the liver graft are estimated. The volume estimated using 2 points are compared with a manual volume that diagnostic radiologist processed and estimated and the weight measured during surgery to support proof of exact volume. The mean ± standard deviation of the differences between the actual weights and the estimated volumes was $162.38\text{cm}^3 \pm 124.39$ in the case of manual segmentation and $107.69\text{cm}^3 \pm 97.24$ in the case of 2 points method. The correlation coefficient between the actual weight and the manually estimated volume is 0.79, and the correlation coefficient between the actual weight and the volume estimated using 2 points is 0.87. After selection the 2 points, the time involved in separation a liver into left and right liver lobe and volumetry of them is measured for confirmation that the algorithm can be used on real time during surgery. The mean ± standard deviation of the process time is $57.28\text{sec} \pm 32.81$ per 1 data set (149.17pages±55.92).

Keywords : LDLT(Living Donor Liver Transplantation), MDCT Abdominal Image, Liver Segmentation Using 2 Points, Liver Graft Volumetry

1. 서 론

의학 영상 처리는 질병의 정확한 진단과 유용한 의학 정보 획득에 중요한 의미가 있다. 이러한 이유로 의료진은 보다 정확한 정보를 쉽고 빠르게 얻고자 의학 영상 처리 기술

[†] 준 회원 : 충남대학교 정보통신공학과 박사과정
^{††} 정 회원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)
논문접수: 2011년 11월 22일
수정일: 1차 2011년 12월 29일
심사완료: 2012년 1월 11일

개발에 큰 관심을 보이고 있다. 간 이식의 경우에도 의학 영상을 통하여 질병의 확정 및 진행정도, 이식을 확정지을 수 있는 정보를 얻고 있다. 간이식은 뇌사자의 간 기증이 필수적이다. 그러나 우리나라에서는 뇌사자의 장기가 이식 대기자에 비하여 턱없이 부족하여 생체 부분간이식이 점점 증가하고 있는 추세이다. 생체간이식수술을 하기 위해서는 기증자와 수혜자의 간 내외부 혈관의 형태, 혈관질환의 유무, 간의 체적을 계산할 수 있는 진단적 영상을 얻는 것은 필수적이다. 기증자가 증여할 수 있는 간의 체적과, 수혜자에게 필요한 간의 체적을 계산하여 이를 비교 분석해야 하기 때문이다. 이식수술은 기증자의 안전이 가장 중요하기 때문에 기증하고 남아있는 간의 체적이 전체 간 체적의 35-40% 이상을 유지할 수 있도록 하여야 한다[1]. 그리고 이식수술 후 환자의 간 기능이 충분히 유지되기 위해서는 이식편(graft)의 체적이 환자 몸무게의 0.8% 이상이 되거나 환자의 표준 간 체적(standard liver volume)의 50% 이상이 되어야 한다[2]. 이러한 이유 때문에 MR이나 CT 영상을 이용하여, 수술 전에 간 체적을 측정하는 많은 연구들이 있었다[3][4]. 이러한 연구에서는 좌우간을 구분하기 위하여 의료진이 최소 2장의 CT 영상이나 3D 영상에 수동으로 선을 그린다. 본 연구에서는 의료진과 시스템간의 이러한 상호작용을 최소화하고 간편하게 하기 위하여 CT 영상에서 2점만을 선택하여 좌우간을 구분하고 체적을 구하는 새로운 방법을 제시하였다.

본 연구의 목적은, CT영상을 이용하여 살아있는 기증자의 좌우간 체적을 보다 정확하게 계산하여, 좌간 혹은 우간 이식편(graft)을 적출하였을 때 실제로 측정될 체적을 쉽고 정확하게 예측할 수 있는 방법을 찾고자 하였다.

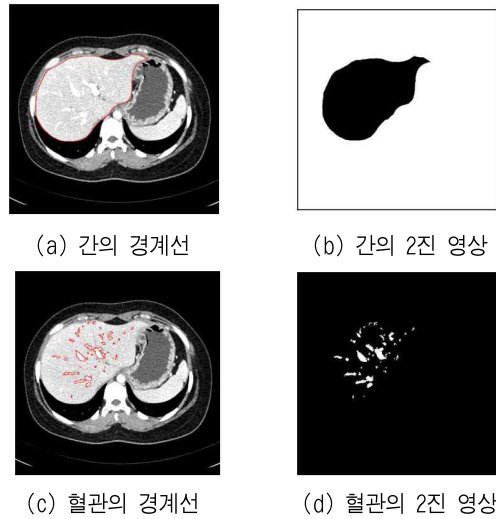
2. 좌간과 우간의 분할

2.1 데이터

2005년 4월부터 2007년 7월까지 이미 생체간 이식에 참여했던 12명의 기증자(4명의 여성: 평균나이=26.5세, 8명의 남성: 평균나이=25.375세) 영상을 획득하여 처리했다. 기증자들은 수술 전 조영술을 이용하여 CT촬영을 했고, 복부 MDCT 영상은 DICOM version 3.0 파일로 저장되었다. CT 촬영 시 사용된 영상의 파라미터들은 120 kVp, 380 mAs, 512x512-pixel matrix, 3 or 5mm section thickness이다. 촬영 후 section thickness 는 1mm로 재구성 되었다. 개인용 컴퓨터(LG PC, Intel(R) Core(TM)2 CPU, 2GB RAM, 32비트 운영체제)에서 CT 영상을 처리하기 위해 파일은 8bit bitmap 파일 형식으로 변환되었다.

2.2 간과 간 내부 혈관 추출

추출된 간[5]은 2진 영상으로 저장하였다(그림 1(b)). 조영제를 투여한 간의 평균 밝기는 180 주변값이다. 간에 해당하는 명암값과 위치 정보를 이용하여 간을 추출한다. Morphological filtering의 기법 중 erosion을 이용하여 뼈나



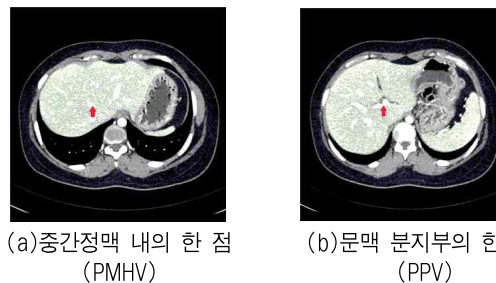
(그림 1) 추출된 간과 혈관 영상

간 외부의 혈관과 같은 주변 조직을 제거한 후 남은 간 조직에 대해서는 dilation을 실행시켜 원래의 영상으로 복원시킨다. 정확성은 의료진에 의해 확인되었다. 혈관은 명암 값과 Canny edge detection을 이용하는 다단계 처리과정을 이용하여 자동으로 추출되었다[6]. 추출된 혈관은 2진 영상(그림 1(d))으로 저장되고 간의 체적계산시 제외되었다.

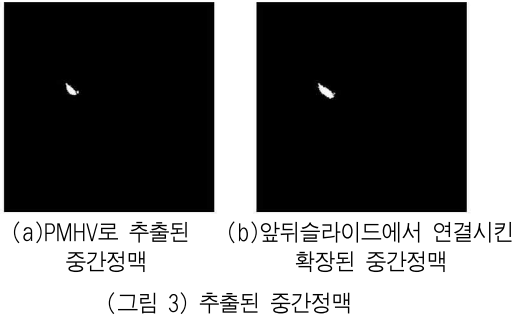
2.3 2점을 이용하여 간 분할

중간정맥은 좌우간의 사이에 끼어있다. 중간정맥을 이식편(graft)에 포함시킬 것인지 아니면 제외시킬 것인지는 기증자의 안전을 고려하여 결정한다. 이것을 결정하기 위하여 중간정맥의 좌우로 절개선을 처리한다. 문맥은 좌문맥지와 우문맥지로 나누어지는 점을 파악하여 적출할 쪽으로 보통 2mm 정도 이동하여 결정한다[7]. 이와 같은 원칙에 의해 간의 절개면을 결정하는 2개의 기준점들을 선택한다. 첫 번째 기준점(PMHV; a Point in MHV)으로 중간정맥 내부의 한 점을 선택한다(그림 2(a)). 두 번째 기준점(PPV; a Point of PV)은 우간으로 들어가는 문맥의 시작점을 선택한다(그림 2(b)).

절개선의 기울기를 결정하기 위하여, 간 내부 혈관들이 추출된 2진 영상들 중 기준점 PMHV가 존재하는 슬라이드에서, PMHV를 중심으로 8방향으로 영역을 확장시켜 중간정맥에 해당하는 혈관만을 추출한다(그림3(a)). 중간정맥의 진행방향을 고려하기 위하여, 중간정맥을 추출한 슬라이드



(그림 2) 좌우간을 구분하기 위한 2점 선택

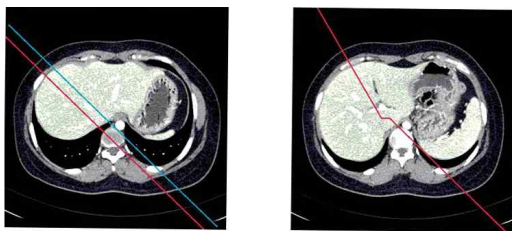


를 기준으로 아래쪽 5장의 슬라이드에서 연결된 중간정맥을 인식하여 확장한다(그림3(b)).

중간정맥내의 픽셀 중 영상의 좌측 최상단 지점(0, 511)에서 가장 가까운 픽셀의 좌표(Xnearest, Ynearest)와 가장 멀리 떨어져 있는 픽셀의 좌표(Xfurthest, Yfurthest)를 결정한다. 이 두 점을 연결하여 기준선을 그린다(식 1 이용).

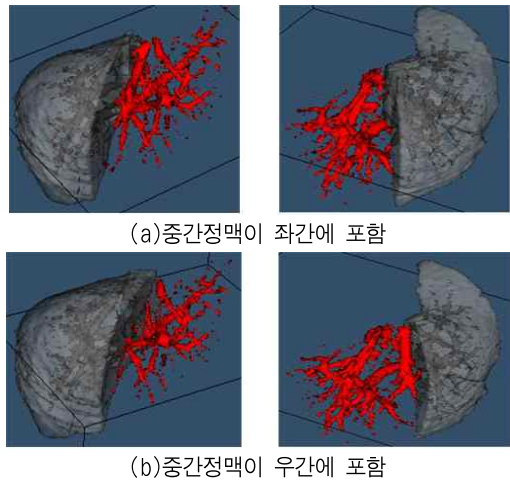
$$LINE = (P - Y_{\text{furthest}}) * (X_{\text{furthest}} - X_{\text{nearest}}) / (Y_{\text{furthest}} - Y_{\text{nearest}}) + X_{\text{furthest}}, (P=0, \dots, 511) \quad (1)$$

기준선의 왼쪽 영역에 있는 픽셀들의 값은 255로, 선의 오른쪽 영역에 있는 픽셀들의 값은 0으로 설정하여 mask 영상을 생성한다. Mask 영상에 Morphological operation인 erosion을 실행하여 mask의 경계선이 중간정맥(그림 3(b))에 접하면서 중간정맥을 포함하지 않는 mask를 생성하고, dilation을 실행하여 중간정맥을 포함하는 mask를 생성한다. 두 마스크의 경계선들이 각각 중간정맥의 왼쪽과 오른쪽에 접하는 최초 절개선들이 된다.(그림 4(a)).



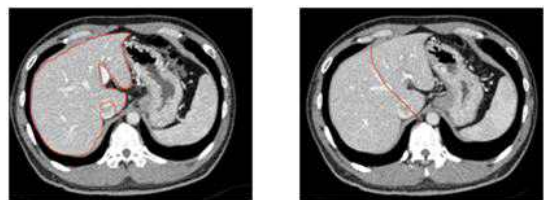
(그림 4(a))에서 보여지는 빨간색 선은 중간정맥을 좌간에 포함시킨 경우이고 파란색 선은 중간정맥을 우간에 포함시킨 경우이다. 기준점 PPV가 존재하는 슬라이드에서, 최초 절개선이 PPV를 지날 수 있도록 최초 절개선 중 간 영역에 해당되는 부분의 기울기를 변화시켜 최종 절개선으로 결정한다. 최초 절개선 전체의 기울기를 변화시키면, 우간의 영역을 침범하는 경우가 발생할 수 있으므로 간 영역에 대해서만 처리한다. PPV가 최초 절개선 상에 존재하면 최초 절개선을 최종 절개선으로 사용한다. PPV가 최초 절개선 상에 위치하지 않는 경우, 점 PMHV(X_{MHV}, Y_{MHV})와 점 PPV(X_{PV}, Y_{PV})에서 각 X좌표를 이동시켜 최초 절개선과 만

나는 점을 LMHV(X_{LMHV}, Y_{MHV})와 LPV(X_{LPV}, Y_{PV})라고 할 때, LMHV를 중심으로 X_{LPV}가 X_{PV}까지 이동할 수 있도록 절개선을 회전시킨다. PPV가 존재하는 슬라이드 상에 그려진 최종 절개선은 (그림 4(b))와 같다. PMHV가 존재하는 슬라이드의 앞쪽 슬라이드들에 대해서는 최초 절개선을 적용하여 간을 좌엽과 우엽으로 나눈다. PMHV가 존재하는 슬라이드와 PPV가 존재하는 슬라이드 사이에서는, 최초 절개선이 최종 절개선까지 동일한 비율로 회전하면서 절개면을 형성한다. PPV가 존재하는 슬라이드의 뒤쪽 슬라이드들에 대해서는 최종 절개선을 적용하여 좌엽과 우엽을 분리한다. (그림 5)는 간 분할 처리를 간 영상과 간 내부 혈관 영상에 적용한 결과를 Visualization Toolkit (VTK) 라이브러리를 사용하여 3D로 재구성한 모습이다.[7] 혈관을 포함한 좌간(좌간과 좌간 내부의 혈관 영상 이용)과 우간 내부의 혈관을 함께 표현하거나 혈관을 포함한 우간(우간과 우간 내부의 혈관 영상 이용)과 좌간 내부의 혈관만을 함께 표현하여 절개면의 중요 혈관 분포를 알 수 있도록 하였다.



3. 좌간과 우간의 체적 계산

실측무게는 수술 중 절제된 이식편에서 혈액을 모두 제거한 후 전자저울 (MWII-3000, CAS)로 이식편의 무게를 측정하였다. 수동 체적 계산은 생체간이식에 앞서 방사선과 의사가 의료영상 처리기에서 전자커서를 이용하여 간의 경



계선과 좌우간을 나누는 구분선을 수동으로 그렸다(그림 6). 수동으로 경계선을 표시할 수 있는 혈관을 제외시켜 간의 체적을 계산하였다.

2점을 이용한 자동 체적 계산은 자동으로 추출된 혈관을 제외하고 좌간과 우간의 체적들을 계산한다. 전체 간 체적에 대한 좌간과 우간의 비율도 계산한다. 2점을 선택한 후 좌간과 우간을 분할하여 체적과 비율을 계산하는데 걸리는 시간을 측정하였다.

4. 결 과

4.1 실측무게, 수동으로 예측한 체적, 2점을 이용하여 예측한 체적의 비교

수술 중 측정된 기증자의 실측무게는 677.78g±180.86이다. 수동으로 계산된 체적과 2점을 이용하여 자동으로 계산된 체적의 결과와 오차에 대한 평균 ± 표준편차는 표 1에 정리하였다. 실측무게와 수동으로 계산된 체적의 상관관계는 0.79이고 실측무게와 2점을 이용하여 계산된 체적의 상관관계는 0.87이다. 전체 간에 대한 좌우간의 비율도 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> 이식편의 체적과 비율

Variable	의료진의 수동 예측	2점을 이용한 자동 예측
Liver graft volume(cm ³)	840.17±192.22	785.47±192.94
Average Error(cm ³)	162.38±124.39*	107.69±97.24**
Left lobe ratio(%)	37.95±4.28***	39.33±5.87***
Right lobe ratio(%)	62.05±4.28***	60.67±5.87***

모든 값은 평균 ± 표준편차로 표현
 * 수동으로 계산한 체적 - 실측무게
 ** 2점을 이용하여 계산한 체적 - 실측무게
 *** 전체 간 체적에 대한 좌우간 체적의 비율

제안한 2 점을 이용한 자동 예측 알고리즘이 수동 예측보다 average error가 작고 실측무게에 가깝다.

4.2 처리 시간

제안한 알고리즘에 의해 처리한 전체 section 수에 대한 평균 ± 표준편차는 149.17장 ± 55.92 이고, 제안한 알고리즘에 의해 2점을 이용하여 좌간과 우간을 분할하고 체적과 비율을 계산한 시간의 평균 ± 표준편차는 57.28sec ± 32.81이다. 따라서 section 한 장당 처리 시간은 평균 0.384sec이다.

5. 결 론

수동으로 선을 그어주는 처리는 직접 간 내부의 혈관 변화를 관찰하면서 필요한 슬라이드마다 절개선을 그어주지만 본 연구에서 제안한 좌우간의 분할 방법은 수동처리의 과정을 최소화하기 위하여 2점을 선택하고 자연스럽게 실제 상황처럼 절개면을 만들었다. 이러한 방법은 환자마다 달라질 수 있는 불규칙적인 절개면의 형태를 보다 정확하게 처리하

여 수동처리보다 실측무게와의 오차를 줄일 수 있었다. 또한 본 연구에서 진행된 과정의 처리속도도 수술 중 처리할 수 있을 만큼 빠르고 의료진의 수동처리를 최소화하여 처리가 간단하기 때문에 현재 병원에서 사용 중인 시스템과 연동 가능해진다면 수술실에서 수술 중에 여러 가지 상황에 맞추어 실시간으로 간의 체적을 예측해 볼 수 있어 의료영상 처리 시스템의 자동화 구축에 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Fan ST, Lo CM, Liu CL, Yong BH, Chan JK, Ng IO, "Safety of donors in liver transplantation using right lobe grafts," Arch Surg, Vol.135, pp.336-340, 2000.
 [2] Kiuchi T, Kasahara M, Uryuhara K, et al., "Impact of graft size mismatching on graft prognosis in liver transplantation from living donors," Transplantation, Vol.67, pp.321-327, 1999.
 [3] Tobias S, Arnold R, Hilmar K, et al., "Evaluation of living liver donors with an all-inclusive 3D multi-detector row CT protocol," Radiology, Vol.238, pp.900-910, 2006.
 [4] A. Radtke, G. C. Sotiropoulos, S. Nadalin, E. P. Molmenti, T. Schroeder, et al., "Preoperative volume prediction in adult live donor liver transplantation: 3-D CT volumetry approach to prevent miscalculations," Eur J Med Res, Vol.13, pp.319-326, 2008.
 [5] 서정주, 류강민, 양비, 박종원, "MDCT 영상에서 간의 추출," 한국정보과학회:한국컴퓨터종합학술대회2005 논문집(B), 제32권, 제1호, pp.802-804, 2005.
 [6] Jeong-Joo Seo, Jong-Won Park, "Automatic Segmentation of Hepatic Vessels in Abdominal MDCT Image," ICCIT2009, DOI 10.1109, pp.420-424, 2009.
 [7] Will Schroeder, Den Martin, Bill Lorensen, The Visualization Toolkit An object-oriented Approach To 3D Graphics Third Edition, Kitware Inc., USA.

서 정 주

e-mail : jjseo@cnu.ac.kr
 1990년 충남대학교 계산통계학과(이학사)
 1993년 충남대학교 전산학과(이학석사)
 2004년~현 재 충남대학교 정보통신공학과 박사과정
 관심분야: 영상처리, 의료영상처리



박 종 원

e-mail : jwpark@cnu.ac.kr
 1979년 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1981년 한국과학기술원 전산과(이학석사)
 1991년 한국과학기술원 전산과(이학박사)
 1983년~현 재 충남대학교 정보통신공학과 교수



관심분야: 영상처리, 병렬 컴퓨터 구조, 의학 영상처리