

캡슐내시경 영상의 진단 보조를 위한 소장 기관 중심 지식 모델링 기법¹

황규본, 박예슬, 이정원
아주대학교 전자공학과

e-mail : bon1229@ajou.ac.kr, yeseuly777@gmail.com, jungwony@ajou.ac.kr

Small Intestine-Centric Knowledge Modeling Method for Supporting Diagnosis using Capsule Endoscopy Image

Gyubon Hwang, Ye-Seul Park, Jung-Won Lee

Dept. of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

요 약

캡슐내시경은 일반적인 내시경의 접근이 어려운 소장을 관찰하는 데 특화되어 있다. 보통 캡슐내시경 영상을 판독하기 위해 의사는 해부학적 지식과 병리학적인 지식과 같은 도메인 지식을 활용하여 영상에 내재된 정보를 획득한다. 이와 같은 내재된 정보는 도메인 지식을 활용하여 분석될 수 있는 의미적 정보라고 할 수 있다. 본 논문에서는 의미적 정보를 추출하는 과정을 의미 기반 분석이라 정의하고, 의미 기반 분석 과정에서 요구되는 도메인 지식 모델링 기법을 제안하고자 한다. 캡슐내시경의 의미 기반 분석 과정은 크게 이미지 특징 추출, 해부학적 분석, 병리학적인 분석으로 구성되며, 이와 같은 분석 과정에 활용될 수 있는 해부학 모델과 병리학 모델을 제안한다. 제안하는 모델은 캡슐내시경 영상의 주요 대상 기관인 소장 특화된 모델로 효과적인 영상 판독을 보조할 수 있음을 보인다.

1. 서론

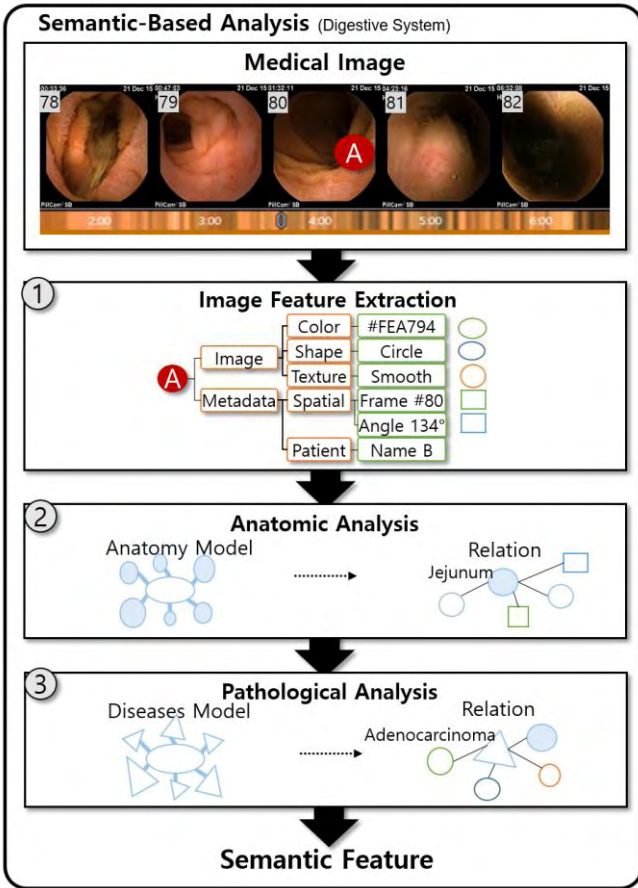
일반적으로 내시경 검사는 소화 기관의 이상성을 파악하기 위해 활용되는 임상 검사이다. 그러나 일반 내시경 검사는 환자에게 고통과 불편감뿐만 아니라 대장천공과 같은 질환을 유발할 수 있다는 단점이 있다. 캡슐내시경은 이와 같은 단점을 보완하기 위해 개발된 캡슐 형태의 내시경을 말한다. 보통 캡슐내시경은 일반적인 내시경으로는 접근하기 어려운 소장의 이상성 확인을 위하여 많이 사용되고 있다[1].

의사는 8~12 시간의 캡슐 내시경 영상을 분석하여 획득한 이미지의 특징들을 해부학적, 병리학적인 지식을 활용하여 영상에 내재된 의미적 특징을 찾아 진단한다. 이와 같은 과정을 통해, 방대한 양의 영상 프레임들을 판독하여 병변의 위치, 상태, 질병과 같은 영상에 내재된 정보가 판독된다. 이러한 과정을 의미 기반 분석이라고 정의한다. 그림 1 은 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석 과정을 도식화한 것으로 다음과 같은 절차로 수행된다. 첫째, 영상으로부터 병변의 위치나 상태(색상, 모양 등)와 같은 이미지의 특징 정보를 추출한다(과정①). 둘째, 해당 영상이 어떤 기관을 촬영한 것인지를 파악한다. 즉 이미지 특징 정보와 해부학적 지식 정보를 활용하여 어떤 부위에서 이상성이 발견되었는지 확인하는 해부학적 분석

과정을 수행한다(과정②). 셋째, 앞서 획득한 정보들과 질병의 증상, 발병 위치, 원인 등 병리학적인 지식을 활용하여 출혈, 용종, 궤양 등 다양한 질병을 진단하는 병리학적인 분석을 수행한다(과정③). 이와 같은 과정을 통해 캡슐내시경 영상이 판독되어 의미적 특징 정보가 추출된다.

최근에는 이와 같은 의미적 특징 추출을 보조하기 위한 다양한 연구들이 수행되었다. [2-3]의 연구에서는 방대한 양의 영상으로부터 색상, 모양 등의 시각적인 특징들을 빠르게 얻을 수 있는 연구가 수행되었다. 이러한 연구들은 의미 기반 분석 과정의 이미지 특징을 추출하는 과정(①)을 보조할 수 있다. 하지만 이미지 특징을 추출하는 것에 국한되어 의미적 특징을 추출하기 위해서는 추가적인 방법이 필요하다. [4-5]에서는 의료 영상으로부터 해부학적인 지식 정보나 병리학적인 지식 정보를 활용하여 의미적 특징 정보를 추출하는 연구가 수행되었다. 이러한 연구는 그림 1 의 해부학적 분석과 병리학적인 분석 과정(②, ③)을 보조할 수 있다. 하지만 [4-5]는 일반적인 의료 영상에 대해 초점을 맞춰 캡슐내시경 영상과 관련된 소화기관에 특화된 도메인 지식 정보가 결여되어

¹ * 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2017-2016-0-00309)



(그림 1) 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석 과정

있다. 따라서 이와 같은 연구들을 캡슐내시경 영상에 적용하기 어렵다는 한계를 갖는다.

따라서 본 논문에서는 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석을 수행하기 위해 요구되는 도메인 지식 모델링 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 캡슐내시경 영상의 주요 관심 영역인 소장 기관 중심 지식 모델링 방법론이다. 이것은 소장 기관의 연속성이나 병리학적인 연관성을 분석하여 하나의 모델로 구축하는 방식이다. 지식 정보를 체계적으로 구축함에 따라 의미적 특징 정보 추출 과정을 보조한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 의료 영상의 의미 기반 분석 기법을 정의하고, 이를 캡슐내시경에 적용해본다. 3 장에서는 의미 기반 분석을 위한 지식 모델링 기법을 소개하며, 소장 기관 중심의 지식 모델을 제안하고, 4 장에서 결론을 맺는다.

2. 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석

2.1 의료 영상의 의미 기반 분석

의료 영상을 촬영함으로써 영상의 용도나 촬영 기기의 특성에 따라 다양한 영상 처리 과정을 거쳐 색상, 질감, 모양 등의 시각적 정보를 얻을 수 있다. 또한 시각적인 정보와 더불어 의료 영상은 촬영 날짜, 촬영 시간, 촬영 각도 등의 메타데이터와 함께 저장된다. 메타데이터는 데이터의 속성을 기술하는 데이터로 소스, 이미지 유형, 해상도, 형식 등의 미디어

객체가 있다. 또한 환자의 이름, 연령 등의 대상의 명칭 정보를 포함한다[6]. 이와 같은 다양한 정보를 바탕으로 의사는 의료 영상을 분석하게 된다. 이때 해부학적 지식 정보와 병리학적인 지식 정보를 활용하여 영상에 내재된 의미적 특징을 추출한다. 다음은 의미 기반 분석 과정이며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

- ① 이미지 특징 추출 :** 이미지와 메타데이터, 두가지 소스에서 특징 정보를 추출하는 과정이다. 이미지로부터 색상, 모양, 질감 등의 시각적 정보를 추출한다. 그리고 메타데이터로부터 해당 프레임 번호 등 위치 정보를 추출한다. 이와 같은 두 가지 소스로부터 획득된 정보들을 통해, low-level의 영상 정보가 이미지 특징 정보로서 추출된다.
- ② 해부학적 분석 :** ①에서 추출한 특징 정보들을 통해 병변의 위치를 분석한다. 병변의 위치가 어떤 기관에 위치하는지를 파악하기 위하여 이 과정에서 해부학적 지식을 필요로 한다.
- ③ 병리학적인 분석 :** ①에서 획득한 특징과 ②의 과정에서 파악한 병변의 위치, 상태와 같은 정보를 통해 영상에서 해석될 수 있는 질병을 파악한다. 이 과정에서 질병의 증상, 특징 등을 파악하기 위한 병리학적인 지식을 요구한다.

2.2 캡슐내시경 영상의 적용

캡슐내시경은 환자가 캡슐을 복용한 후 8~12 시간 체내에 머물며 1초당 1.4~2.8 장의 영상을 촬영한다. 그림 2는 캡슐내시경 영상의 예이다[7]. 그림과 같이 캡슐내시경 영상은 순차적인 시간그래프에 따라 표시된다. 그리고 위장관의 연동운동에 따라 소화기 전반을 연속해 촬영하므로 그 양이 방대하다. 또한 캡슐내시경이 위치하는 기관이 바뀌지 않는 이상 유사하거나 중복되는 영상이 많다. 이러한 캡슐내시경 영상의 문제를 해결하기 위해 2.1 장에서 소개한 의미 기반 분석을 적용할 수 있다. 의미 기반 분석을 통해 병변 의심 부위를 찾을 수 있는 확률을 높일 수 있으며, 병변에 대한 정보는 의미적 특징 정보로서 추출될 수 있다. 따라서 발견된 영역은 관심 영역으로 지정하여 보다 자세한 분석을 할 수 있을 것이다. 그림 1에서 병변의 위치를 A라고 할 때, 의미 기반 분석을 적용한 세부적인 내용은 다음과 같다.



(그림 2) 캡슐내시경 영상의 예

① 이미지 특징 추출 :

- 이미지로부터 추출된 정보 : 점막의 색상, 모양, 점막의 형태, 질감 등의 정보들이 추출된다. 그림 1에서는 점막의 평균 색상(#FEA794), 모양(Circle), 질감(Smooth)의 정보가 추출되었다.
- 메타데이터로부터 추출된 정보 : 프레임 번호로부터 위치 정보가 추출된다. 그림 1에서는 캡슐의 위치가 Frame #80 이라는 정보가 추출되었다.

② 해부학적 분석 : 소화기계는 구강에서 대장까지 연속성을 갖는 기관이다. 순서대로 구강-식도-위-소장-대장과 같은 주요 기관이 존재한다. 그림 1에서는 병변 A의 위치가 Jejunum(공장)이라는 정보가 추출되었다.

③ 병리학적 분석 : 소화기계에서 발생할 수 있는 질병들의 원인과 증상, 내시경 영상에서 나타나는 특징들에 대한 정보이다. 그림 1에서는 병변 A의 질병이 Adenocarcinoma(선암)인 것을 도출한다.

이러한 의미 기반 분석 과정을 통해 공장과 선암이라는 의미적 특징을 추출할 수 있다. 하지만 이와 같은 의미적 특징을 추출하기 위해서는 공장이 포함된 해부학적 지식과 선암이 포함된 병리학적 지식이 필요하다. 3 장에서는 이러한 도메인 지식의 모델링 기법을 소개한다.

3. 소장 기관 중심 지식 모델링 기법

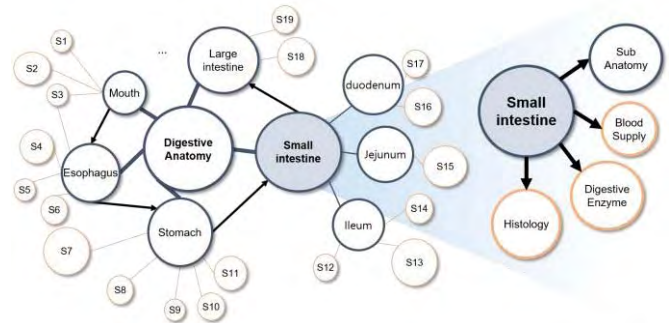
3.1 의미 기반 분석을 위한 지식 모델링 기법

캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석을 위해서는 병변의 위치를 파악하기 위한 해부학적 정보가 필요하다. 그리고 영상의 시각적 정보가 어떤 질병인지 파악하기 위한 병리학적 정보가 필요하다. 따라서 의미 기반 분석을 위한 지식 모델은 다음과 같은 두 가지 모델을 융합하여 모델링한다.

- 해부학 모델(Anatomy Model) : 캡슐내시경이 통과하는 소화기관은 구강에서부터 항문까지 하나의 경로로 나타낼 수 있다. 캡슐내시경 영상 분석을 위해 소화기관은 캡슐내시경 영상이 실제 통과하는 기관을 중심으로 구조화 해야한다. 그러므로 앞서 언급한 경로에 존재하는 구강-식도-위-소장-대장을 중심 아나토미(Core Anatomy)로 정의한다. 또한 소화기관에는 소화액 분비 및 흡수 등 캡슐내시경으로는 확인할 수 없으나 소화기관의 동작을 보조하는 기관들이 존재한다. 이러한 기관들은 보조 아나토미(Support Anatomy)로 정의한다. 그림 3은 소장의 해부학 모델의 구조를 나타낸 것이며 세부적인 설명은 다음과 같다.
 - 중심 아나토미(Core Anatomy) : 실제 음식물이 지나가는 경로이다. 소화 기관을 차례로 촬영한다는 캡슐내시경의 특징에 의해 크게 구강-식도-위-소장-대장 순으로 나타나며 이것은 캡슐내시경 검사에서 가장 주요한 기관으로 중심

아나토미(Core Anatomy)로 정의한다.

- 보조 아나토미(Support Anatomy) : 중심 아나토미(Core Anatomy)의 기능 등의 정보를 이해하기 위한 기관들이다. 소화와 흡수를 돕는 기관들로 Blood Supply(혈관도), Enzyme(효소)/Hormones(호르몬), Histology(조직학)으로 나누어 정의한다.
- 병리학 모델(Pathology Model) : 병리학 모델은 진단을 위한 질병 정보를 정의한 모델이다. 질병 발생 원인에 따라 나누고 각 질병의 증상, 내시경 영상의 시각적 특징을 구분한다. 진단을 보조하는 정보로서 Risk factor, 다른 진단 도구에 대해 포함한다.



(그림 3) 소화기계 해부학 모델 구조

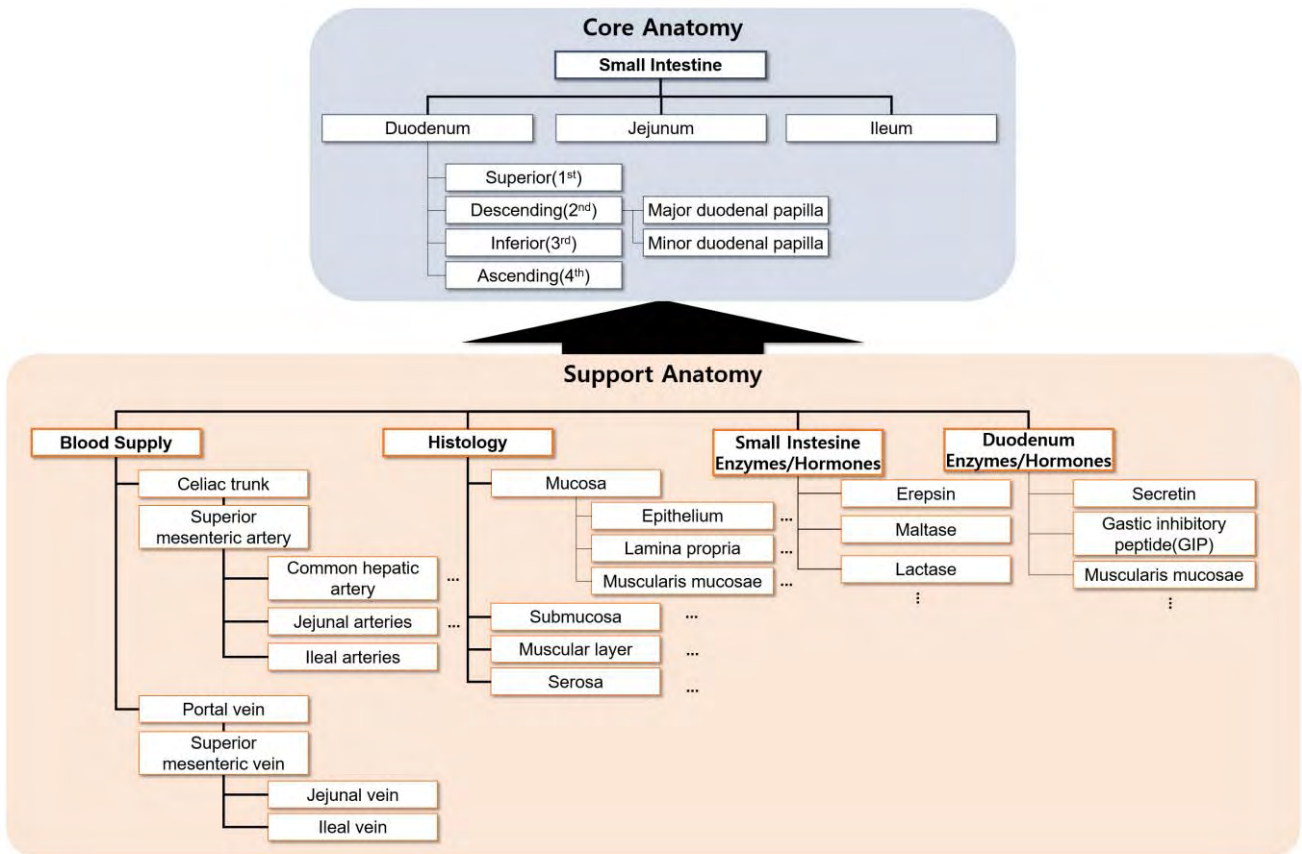
3.2 소장 기관 중심 지식 모델

이 장에서는 캡슐내시경 검사의 주요 관심 영역인 소장에 대해 3.1 장의 지식 모델링 기법을 적용한다.

- 해부학 모델(Anatomy Model) : 소장의 해부학 모델은 크게 2 가지로 중심 아나토미(Core Anatomy)와 보조 아나토미(Support Anatomy)로 나뉜다. 중심 아나토미(Core Anatomy)는 소장을 구성하는 기관들로 구성되어 있다[7]. 보조 아나토미(Support Anatomy)는 소장에 혈액을 공급하는 혈관 정보, 관련된 소화 효소나 호르몬 정보, 소장 기관의 조직학적 정보이다. 각 구성은 그림 4와 같다.
- 병리학 모델(Pathology Model) : 소장의 병리학 모델은 질병의 원인에 따라 크게 7 가지로 분류될 수 있다[8]. 질병의 원인에 따른 질병의 종류는 표 1과 같이 요약될 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문은 캡슐내시경 영상의 효율적인 관독을 보조하기 위한 연구로서, 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석 방법을 정의하고 이를 보조하기 위한 도메인 지식 모델링 기법을 제안하였다. 의미 기반 분석에 활용되는 도메인 지식 모델은 해부학 모델과 병리학 모델로, 영상에서 추출된 이미지 특징 정보들을 해부학적, 병리학적으로 분석하는 데 활용될 수 있다. 본 논문에서는 캡슐내시경 영상의 의미 기반 분석을 위해 활용될 수 있는 소장 기관 중심의 지식 모델을 제안하였다. 제안하는 모델은 소장 기관에 대한 지식



(그림 4) 소장의 해부학 모델

<표 1> 소장의 병리학 모델

Anatomy	Cause	Disease
Small intestine (Small Bowel)	Obstruction or obstructive disorders	{Volvulus, Hernia, Adhesions, Intussusception, ...}
	Neoplasms (cancers)	{Adenocarcinoma, Carcinoid, Sarcoma, Leiomyoma, ...}
	Parasitization	{Ascariasis, Giardiasis, ...}
	Bacterial infections	{Whipple's disease, Enteric, Campylobacter, ...}
	Viral infections	{Norovirus, Rotavirus, ...}
	Developmental, congenital or genetic conditions	{Meckel's diverticulum, Pyloric stenosis, Duodenal atresia, ...}
	Other conditions	{Crohn's disease, Duodenal ulcers, Coeliac disease, ...}

정보를 체계적으로 구축한 것으로 캡슐내시경 영상에 내재된 의미적 특징 정보를 효과적으로 추출하기 위한 기반 지식으로 활용될 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 구축된 지식 모델을 기반으로 캡슐내시경 영상의 의미적 특징 정보를 추출하고 구축된 지식 모델을 확장하여 소화기 전체에 대한 지식 모델을 구축할 계획이다.

참고문헌

- [1] 은중렬, and 장병익. "소장질환의 진단에 캡슐내시경 검사의 유용성." *Medicine* 23.1 (2006): 06.
- [2] 김기윤, and 김태권. "캡슐 내시경 시스템의 최신 의료 영상처리 및 진단 기술." *한국통신학회논문지* 38.9 (2013): 802-812.
- [3] Iakovidis, Dimitris K., and Anastasios Koulaouzidis. "Software for enhanced video capsule endoscopy: challenges for essential progress." *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* 12.3 (2015): 172-186.
- [4] Iakovidis, Dimitris K., et al. "An ontology of image representations for medical image mining." *Information Technology and Applications in Biomedicine*, 2009. ITAB 2009. 9th International Conference on. IEEE, 2009.
- [5] Kurtz, Camille, et al. "On combining image-based and ontological semantic dissimilarities for medical image retrieval applications." *Medical image analysis* 18.7 (2014): 1082-1100.
- [6] 도재혁. "캡슐내시경 판독." *대한소화기대시경학회지* 28.1 (2004): 205-209.
- [7] 캡슐내시경 영상 뷰어: rapid v8 reader S/W
- [8] Drake, Richard, A. Wayne Vogl, and Adam WM Mitchell. *Gray's anatomy for students*. Elsevier Health Sciences, 2014: 312-356.
- [9] Walker, Brian R., and Nicki R. Colledge. *Davidson's principles and practice of medicine*. Elsevier Health Sciences, 2013.