

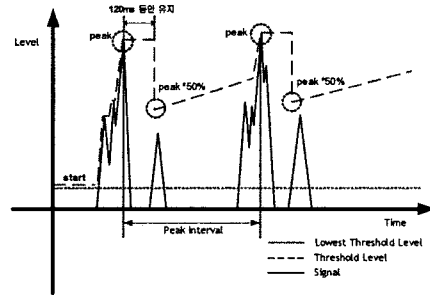
심장질환 치료를 위한 체내삽입형 저전력 Pacemaker에 관한 연구

김교석, 이상원, 조준동  
성균관대학교 정보통신공학부 전기전자컴퓨터공학과

Implantable low-power Pacemaker for Heart Disease Therapy

Kyo Seok Kim, Sang Won Lee, Jun-Dong Cho  
Information & Communication Engineering, SungKyunKwan University

**Abstract** - 본 연구는 체내 이식형 Pacemaker를 연구하면서 심장 질환을 Therapy 해 주는 방법에 대해 저전력 및 성능향상에 중점을 두고 연구 및 실험을 하였다. 우선적으로 심장의 심박동을 연산량이 적은 Peak\_detection에서 체크하여 전력소모를 줄이고 나오는 각 심실 및 심방의 Interval을 Disease\_episode에서 받는다. 여기서 5가지 심실 및 심방에 관한 질환들(VF : Ventricular Fibrillation, VT : Ventricular Tachycardia, FVT : Fast Ventricular Tachycardia, FAT\_AF : Fast Atrial Tachycardia/Atrial Fibrillation, AT\_AF : Atrial Tachycardia/Atrial Fibrillation)을 판별한 후 각 병증에 맞는 Therapy 값을 출력하게 하였다. 그 외에 남아있는 병증에 대해서도 Therapy가 저전력 및 성능향상 되도록 설계하였다. 기존에 적용되어 있는 Detection 기법에서는 각각의 병증에 대해서 각 Detection이 있어 VF와 VT 사이에 있는 FVT와 같은 병증을 치료할 때 FVT 같은 경우에는 VF와 VT사이에서 있는 질병이기 때문에 FVT\_VF 및 FVT\_VT와 같이 각각의 Detection을 두어 전력 소모가 있었다. 심장에서는 여러 질병이 한번에 나올 수 없다는 것에 착안하여 (심박동 Interval에 의해 질병이 판단되므로) 다른 병증이지만 같은 진단 기준을 쓰는 Detection을 통합함으로써 하나의 모듈로 구성하여 Gate수를 줄이고 저전력을 구현하였다. 또한 병증을 판별하는 진단 기준 모듈 중 Onset\_Criterion 재설계하여 좀더 성능 향상에 중점을 두었다.



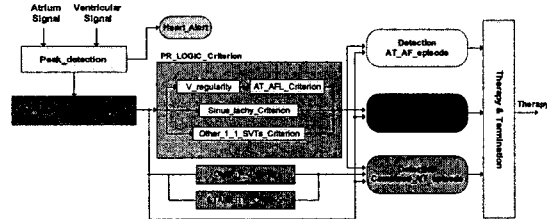
- <그림 2> Low Complexity Peak detection

2.2 Therapy

Peak detection에서 받은 Peak interval을 통해 5가지 질병을 판단하여 적절한 Therapy를 통해 치료한다. 치료는 8단계의 강도로 한다. 5가지 질병 및 전체 시스템은 다음과 같다.

1. AT\_AF (Atrial Tachycardia, Atrial Fibrillation)
2. FAT\_AF (Fast Atrial Tachycardia, Atrial Fibrillation)
3. VT (Ventricular Tachycardia)
4. FVT (Fast Ventricular Tachycardia)
5. VF (Ventricular Fibrillation)

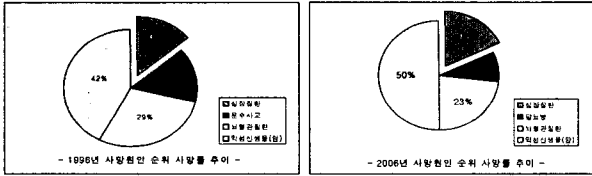
<그림 3> 질병진단 종류



<그림 4> 전체 시스템 블록도

1. 서 론

최근 여러 가지 요인으로 인해 심장질환이 점점 증가하고 있다. 전통적으로 심장 건강에 영향을 미치는 것으로 알려져 온 혈압, 혈당 외에 복부비만 HDL콜레스테롤, 중성지방 및 스트레스는 심장질환을 일으키는 가장 큰 요인이다. 현재 성인 10명 가운데 7명은 심장질환 위험에 노출돼 있는 것으로 나타났다[1]. <그림 1>에서 보는 것과 같이 1996년과 2006년 10년 사이에 사망원인 순위가 암(1위)과 뇌혈관질환(2위) 다음으로 심장질환(3위)이 뒤를 잇고 있다. 최근 인구통계수치를 보더라도 60세 이상의 연령이 계속 증가하는 추세이다[2]. 따라서 체내 삽입형 Pacemaker에[4][5] 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있으며 정확한 동작과 저전력의 특성을 요구하는 바 본 논문에서는 low-complexity detection을 사용하여 정확한 Therapy를 출력하였고 이전의 방법[3] 보다 Gate count수 및 interconnection을 줄였다. Verilog HDL을 통해 프로세서를 설계하였으며 TSMC 0.18um을 통하여 합성된 후 실험을 검증하였다.



<그림 1>년도별 사망원인 순위 사망률 추이

2. 본 론

2.1 Low-Complexity Peak\_detection

Low-Complexity Peak detector는 심장의 EGM(electrogram:활동전위도)을 통해 Atrium 과 Ventricular의 신호를 받아서 Peak와 Peak 사이의 interval을 계산하여 Late\_information\_buffer로 보내준다. 정확한 Peak를 검출하기 위해 Peak를 찾았을 때 120ms 유지하도록 하였고, Peak를 찾은 후 Threshold Level을 낮추던 방법이 아닌 증가시킴으로써 불필요한 계산을 피하도록 하였다. 이를 통해 기존의 방식보다는 좀 더 계산과정을 줄이고 딜레이를 최소화 하였다. <그림 2>는 Low-Complexity Peak detection을 보여주고 있다. 처음 시작은 Lowest Threshold Level에서부터 시작해서 이전값보다 큰값이 들어오면 계속해서 Threshold Level을 따라 센싱한다. 현재값 보다 작은값이 들어오게 되면 이전값을 유지하고 계속 큰값을 찾는다. 최대값을 찾았어도 120ms 만큼 값을 유지하면서 더 이상 높은 level이 안 들어오게 되면 Peak로 계산하고 찾은 Peak의 50% 낮추면서 조금씩 Threshold Level을 증가시켜 나간다. 180ms 동안 어떤 값도 검출하지 못하게 되면 Heart\_Alert의 신호가 Enable되어 위험신호를 알리게 된다.

2.2.1 Therapy 동작

각 디텍션 별로 나온 Episode 에 적절한 Therapy가 나갈 수 있도록 Therapy\_counter은 <표 1> 과 같이 출력하게 된다. 8단계의 강도를 위해 counter값은 1씩 증가한다.

<표 1> Therapy counter value

판별	Therapy_Class	counter_value
VF	5	51
FVT	4	41
VT	3	31
FAT_AF	2	21
AT_AF	1	11
Normal	0	0

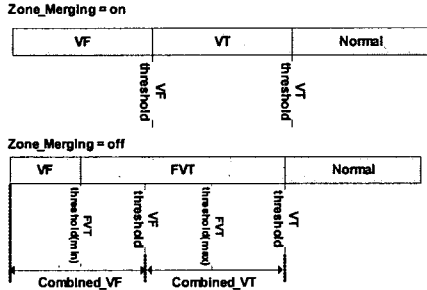
2.2.2 late\_information\_buffer

Peak detection에서 나온 Peak interval을 저장한다. 저장된 Peak interval

을 통해 조건에 만족하는 카운터를 출력시킨다. 이 카운터들에 의해 각각의 질병에 맞는 detection을 거치게 되어 질병진단을 하게 된다. 질병진단의 카운터는 VF\_counter는 Threshold Level이 320ms미만, FVT\_counter는 280ms 이상 360ms 미만, VT\_counter는 400ms 미만이다.

### 2.3 Detection episode

각 Detection은 clear 신호를 가지고 있어서 병증에 대한 잘못된 Therapy가 출력 되었을 때 late\_buffer\_information을 강제로 초기화 시켜준다. 그리고 병증 판단은 각 Detection 별 Threshold에 따라 Counter가 동작하게 되고 Zone\_merging 이 on이나 off냐에 따라 병증이 통합되기도 하고 나누어지기도 한다. [3]



〈그림 5〉 Zone Merging에 따른 detection

#### 2.3.1 Detection\_Combined\_VF\_episode

VF와 FVT\_via\_VF중 하나의 episode를 출력한다. late\_information\_buffer에서 나온 Peak interval이 PR\_LOGIC\_Criterion를 통해 병증을 판별한다.

#### 2.3.2 Detection\_Combined\_VT\_episode

Combined\_VF와는 다르게 좀더 세부적인 기준을 거치게 된다. PR\_LOGIC\_Criterion 기준 뿐만 아니라 ONSET\_Criterion과 STABILITY\_Criterion를 통해 VT와 FVT\_via\_VT 중 하나의 episode를 출력한다. Combined\_VT 역시 late\_information\_buffer에서 나온 Peak interval를 가지고 병증을 진단한다.

#### 2.3.3 Detection\_AT\_AF\_episode

Atrium 발생 사이에 Ventricular가 얼마나 뛰었는지의 개수를 통해서 병증을 판별한다. AV rate가 1:1보다 크게 되면 병증을 출력하게 되고 Detection 안의 AT\_AF counter를 통해 1씩 증가하게 된다. counter값이 10 이상 되었을 시에 FAT\_AF로 병증을 출력하게 된다.

### 2.4 PR\_LOGIC\_Criterion

Sinus\_tachy\_Criterion, Other\_1\_1\_SVTs\_Criterion, AT\_AFL\_Criterion, V\_regularity 를 통하여 FVT 병증을 구별한다. 이 중에 한 개라도 만족하게 되면 FVT 병증으로 판별하게 된다.

#### 2.4.1 V\_regularity

최근 18회 동안 Ventricular가 얼마나 일정하게 뛰었는지 판별하는 모듈이다. 일정하지 않게 되면 Enable 을 보낸다

#### 2.4.2 AT\_AFL\_Criterion

Atrium이 얼마나 빨리 뛰었는가를 판별하는 모듈이다. 이 모듈을 통해서 AT\_AF\_episode에서 병증이 나오게 된다.

#### 2.4.3 Sinus\_tachy\_Criterion

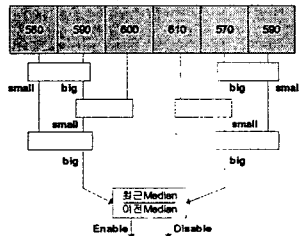
심방 박동수가 정상보다 짧게 되면 Enable 시킨다.

#### 2.4.4 Other\_1\_1\_SVTs\_Criterion

심방피크와 심방피크 사이가 100ms 미만이 되면 Enable 신호를 보낸다.

### 2.5 ONSET\_Criterion

Ventricular interval이 최근 얼마나 급격히 변했는지 알아보는 모듈로서, 기존의 최근4개의 평균을 구하는 대신에[3] 최근 3개의 값의 Median을 구하였다. 무엇보다도 계산이 간편하기 때문에 빠른 동작을 기대할 수 있다. Median값을 비교함으로써 최근 Median과 이전 Median 비가 80%이하로 떨어지게 되면 Enable 신호를 보내게 된다.



〈그림 6〉 ONSET\_Criterion

### 2.6 STABILITY\_Criterion

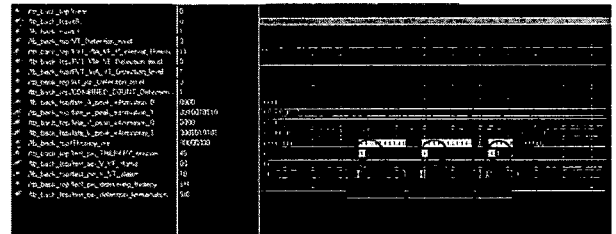
Ventricular interval의 안정성을 평가하는 모듈로서, 최근 한 개의 interval과 이전의 3개의 interval의 차이가 30 이상이 되면 Enable신호를 보낸다.

### 2.7 실험 결과

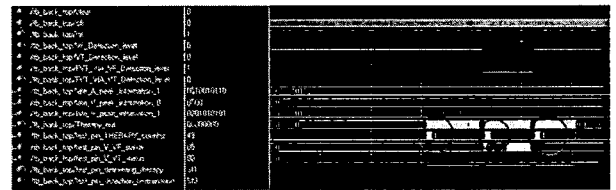
Verilog HDL을 사용하여 Peak detection 및 Therapy 모듈을 설계 하였다. 새로 설계한 Combined\_episode 및 ONSET\_Criterion, Peak detection을 합성한 결과 기존의 합성 결과 보다 좀더 나은 결과를 알수가 있었다. 합성은 TSMC 0.18um 공정을 사용하여 합성하였다. <표3>는 기존의 Gate count수와 비교해서 나타낸 것이다.

〈표 1〉 Therapy counter value

블록명	수정전	수정후
Peak Detection	9,682	6,821
Late Information Buffer	19,704	14,602
Onset Criterion	3,975	2,125
Stability Criterion	853	853
PR_LOGIC Criterion	7,480	7,480
Detection_episode & Therapy	24,505	22,328
Total Gate count	66,199	54,209



〈그림 7〉 FVT 진단 후 Clear 신호를 준 다음 VT 진단



〈그림 8〉 FVT 진단 후 Clear 신호를 준 다음 VF 진단

### 3. 결 론

이번 연구의 목표는 Peak에 대한 정확한 Therapy 출력 및 복잡한 계산을 간소화 하여 Low-complexity 와 모듈을 통합하여 interconnect을 줄임으로써 Low-Power에 중점을 두었다. 실험결과에서 합성결과를 보면 수정 전에는 Total Gate count가 66,119 이었지만 Peak detection의 수정 및 ONSET\_Criterion에서 Median을 사용하여 효율을 높였을 뿐만 아니라 Detection 통합 및 Late\_information\_buffer의 interconnect을 줄임으로써 기존 보다 더 적은 54,209의 게이트 수를 나타내었다. 뿐만 아니라 정확한 Therapy를 위해 clear 신호를 주어서 정확한 질병에 따른 Therapy가 나오는지 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 통계청, "2006년 사망 및 사망원인통계결과", 2007.9
- [2] 대한순환기학회, 2007
- [3] 최명석, "Implantable Bio system design for displacement measurement of living life", ICACT, 1, 299-304, 2007.2
- [4] 유영로, "보건의료기술 연구개발사업 최종 보고서 : 이식형 페이스 메이커의 개발", 보건복지부, 2001
- [5] J Parkes, "Implantable cardioverter-defibrillators in arrhythmias : a rapid and systematic review of effectiveness", Heart Online, 87, 438-442