creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사학위논문

# 스마트워치의 알림 분석 및 전달 최적화

2016 년 8 월

서울대학교 대학원

컴퓨터공학부

김 하 종

# 스마트워치의 알림 분석 및 전달 최적화

지도교수 김 지 홍

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함

2016 년 4 월


서울대학교 대학원

컴퓨터공학부

김 하 종


김하종의 석사학위논문을 인준함

2016 년 6 월

| | | |
|---|---|---|
| 위 원 장 | 하 순 회 | (인) |
| 부위원장 | 김 지 홍 | (인) |
| 위 원 | 이 창 건 | (인) |

# 요약

스마트폰의 알림은 사용자에게 필요한 정보를 적시에 사용자에게 전달하는 기능이다. 일반적으로 스마트워치는 이러한 스마트폰에서 발생하는 알림을 전달받아 더 가까이에서 사용자에게 전달하는 기능을 가진다. 하지만 사용자에게 불필요한 알림은 사용자의 집중을 방해하여 사용자 경험을 저해할 뿐만 아니라 통신과 화면 켜짐, 진동 등을 동반하여 적지 않은 에너지를 소모한다. 특히 스마트워치의 경우 크기 및 무게 제한으로 대용량의 배터리를 탑재할 수 없으므로 이는 더욱 문제가 될 수 있다.

본 논문에서는 먼저 사용자 스터디를 통하여 알림으로 인한 배터리소모가 문제가 될 수 있음 보인다. 사용자 알림 트레이스를 통하여 배터리 소모량을 예측한 결과, 알림이 빈번한 사용자의 경우 하루 배터리 총량의 최대 약 40%에 달하였으며, 배터리 사용시간이 64% 감소하였다.

다음 스마트워치로의 불필요한 증폭된 알림 전달을 줄여 알림으로 인한 에너지 소모를 감소시키는 최적화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 알림 전달을 사용자 문맥(context)을 바탕으로 조건에 따라 지연시킨 다음, 사용자가 인지한 알림이나 스마트워치에서 인지 불가능한 알림 삭제의 전달을 취소시킨다. 제안하는 기법의 시뮬레이션 평가 결과 알림으로 인한 에너지의 13.4%를 감소시켰으며, 실제 사용자 평가에서 알림 및 삭제 전달을 각각 20.5%, 22.3% 감소시켰다.

**주요어 : 웨어러블 디바이스, 스마트워치, 알림, 에너지 최적화**

**학번 :** 2014-21799

# 목차

**요약** **i**

**목차** **ii**

**그림목차** **iv**

**표목차** **v**

**제 1 장 서론** **1**

1.1 연구 배경 . . . . . 1

1.2 연구 동기 . . . . . 4

1.3 연구 기여 . . . . . 6

1.3 논문 구성 . . . . . 7

**제 2 장 실제 사용자 알림 에너지 소모** **8**

2.1 사용자 알림 트레이스 수집 . . . . . 8

2.2 알림으로 인한 배터리 소모 . . . . . 11

**제 3 장 지연을 통한 불필요한 알림 전달 최적화** **16**

3.1 증폭된 알림 전달 . . . . . 16

3.2 SmartNotifier . . . . . 18

3.3 SmartNotifier 구현 . . . . . 22

**제 4 장 실험 결과** 29

4.1 실험 환경 . . . . . 29

4.2 실험 결과 . . . . . 30

**제 5 장 결론** 36

5.1 결론 . . . . . 36

5.2 향후 연구 . . . . . 37

**참고문헌** 38

Abstract 40

# 그림목차

그림 1.1 웨어러블 디바이스 세계 시장 규모 전망 . . . . . 2
그림 1.2 Apple Watch – Key dislikes . . . . . 3
그림 1.3 스마트워치를 통한 사용자 알림 인지 및 응답 과정 . . . . . 4
그림 1.4 스마트워치 구매 주요 이유 . . . . . 5
그림 2.1 알림 발생 응용의 평균 비율 . . . . . 9
그림 2.2 알림으로 인한 에너지 소모 . . . . . 11
그림 2.3 스마트워치 알림의 전력 소모 . . . . . 13
그림 2.4 알림으로 인한 하루 배터리 소모 . . . . . 15
그림 2.5 사용자별 예상 배터리 lifetime . . . . . 15
그림 3.1 불필요한 알림 전달 시나리오 . . . . . 16
그림 3.2 New/update 알림 전달 지연 . . . . . 18
그림 3.3 Update 알림 발생시 지연 중인 알림 갱신 . . . . . 19
그림 3.4 알림 삭제 지연 . . . . . 20
그림 3.5 안드로이드 알림 발생 및 스마트워치로의 전달 . . . . . 22
그림 3.6 SmartNotifier 구조 및 알림 전달 . . . . . 24
그림 3.7 New/update 알림 전달 지연 알고리즘 흐름도 . . . . . 25
그림 3.8 알림 삭제 전달 지연 알고리즘 흐름도 . . . . . 27
그림 3.9 알림 인지 및 지연 전달 알고리즘 흐름도 . . . . . 28
그림 4.1 사용자별 알림 소모 에너지 감소 . . . . . 30
그림 4.2 사용자별 알림 전달 횟수 변화 . . . . . 31
그림 4.3 사용자별 배터리 lifetime 증가 . . . . . 32
그림 4.4 알림 지연 전달 시간 분포 . . . . . 33

# 표목차

표 2.1 사용자별 알림 발생 및 삭제 . . . . . 9
표 2.2 알림의 stage별 소모 전력 및 길이 . . . . . 14
표 2.3 전력 모델 검증 실험 예측 오차 . . . . . 14
표 4.1 사용자별 알림 전달 상세 . . . . . 31
표 4.2 사용자별 하루 평균 알림 전달 상세 . . . . . 34

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

웨어러블 디바이스(wearable device)는 신체에 착용하거나 의류에 부착하여 사용자에게 컴퓨팅 환경을 제공하는 디바이스를 의미하며, 단순히 전자기기를 몸에 지니는 것이 아닌 사용자와 가까운 위치에서 언제, 어디서나 사용자에게 쉽고 편리한 방식으로 유용한 기능을 제공한다. 최근 스마트폰 시장이 성숙기에 접어 들면서 성장이 둔화되고 있는 반면 이러한 웨어러블 디바이스는 향후 지속적이고 큰 폭으로 성장할 것으로 기대되어 학계 및 기업에서 활발히 연구가 진행되고 있다.

이러한 웨어러블 디바이스는 착용 형태에 따라 안경, 밴드, 반지, 시계, 신발, 의류, 콘택트렌즈 등 다양한 유형이 제안되었으며, 그 중 특히 손목에 착용하는 시계 형태의 스마트워치가 가장 빠르게 확산될 것으로 예상된다.(그림 1.1) 2015년 스마트워치의 세계 출하량은 2,130만대에 이르며[2], Apple의 Apple Watch, 삼성의 Gear 시리즈, LG의 LG Watch Urbane, Motorola의 Moto 360 등 여러 스마트워치 제품이 주로 스마트폰 제조사에 의해 다양한 제품으로 출시되었다.

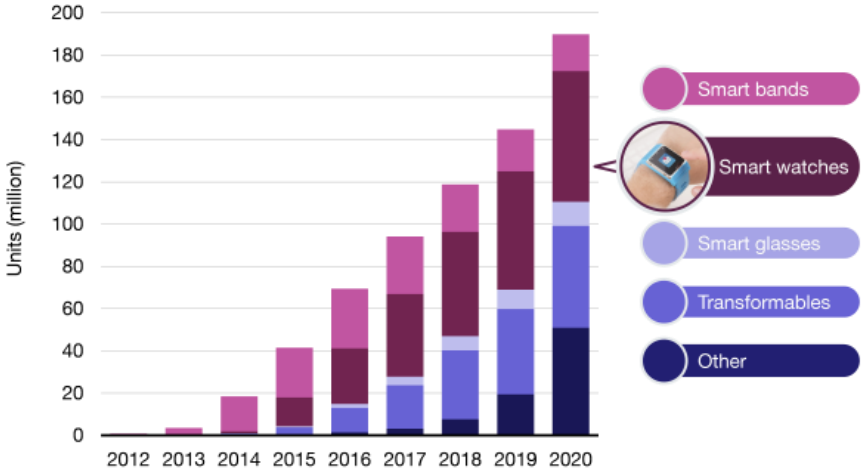


그림 1.1 웨어러블 디바이스 세계 시장 규모 전망[1]

한편, 이러한 스마트워치의 대중화에 있어 걸림돌이 되는 것은 배터리의 lifetime이다. 스마트워치는 크기 및 무게 제한으로 인하여 탑재되는 배터리의 용량이 일반적인 스마트폰의 약 1/5 수준이며, 배터리 lifetime은 일반적인 시계의 경우 수 년인 것에 비해 사용자에 따라 하루에도 못 미치는 경우도 있다. 특히, 그림 1.2는 한 시장조사기관에서 Apple Watch 사용자를 대상으로 스마트워치의 불만사항을 조사한 결과로, 짧은 배터리 lifetime이 전체 응답자의 37%를 차지하여 가장 불만족스러운 항목으로 지목되었다.

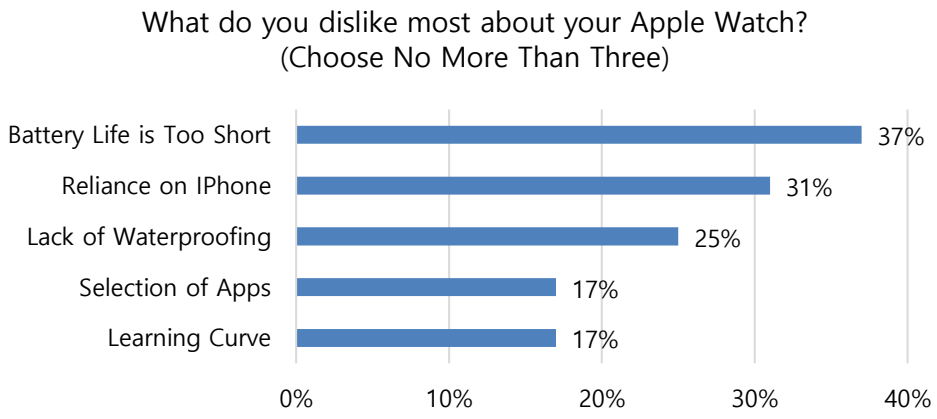


그림 1.2 Apple Watch – Key dislikes[3]

이러한 문제는 배터리 기술의 발전속도에 비추어 볼 때 단기간에 해결되기 어려울 것으로 예상된다. 반면 스마트워치의 응용은 미래 점차 다양해질 것으로 예상되어 스마트워치의 효율적인 전력관리가 중요한 문제가 되었다.

## 1.2 연구 동기

일반적으로 스마트 디바이스에서 알림(notification)은 사용자가 알아야 할 중요한 이벤트를 진동, 소리, 빛, 화면표시 등을 통해 사용자에게 전달하는 기능을 말한다. 스마트폰의 경우 메일, SNS, 메시징, 뉴스 등 다양한 응용에서 이를 통해 적시에 사용자에게 필요한 정보를 전달하여 스마트폰을 일상생활에서 불가결한 존재가 되게끔 하였다.

스마트워치의 알림은 스마트폰에서 응용이 자신의 알림을 생성하는 것과 달리 주로 스마트폰에서 발생한 알림을 전달 받아 생성된다. 스마트워치를 통하여 사용자는 스마트폰을 켜지 않고 더 빠르고 편리한 방식으로 스마트폰의 알림을 인지 및 응답할 수 있으며, 그림 1.3은 그 과정을 나타낸다. 이러한 스마트워치의 알림 기능은 한 시장조사결과 스마트워치를 구입하는 가장 큰 이유로 선택되는 등(그림 1.4) 스마트워치의 그 중요성이 매우 크다.

그림 1.3 스마트워치를 통한 사용자 알림 인지 및 응답 과정

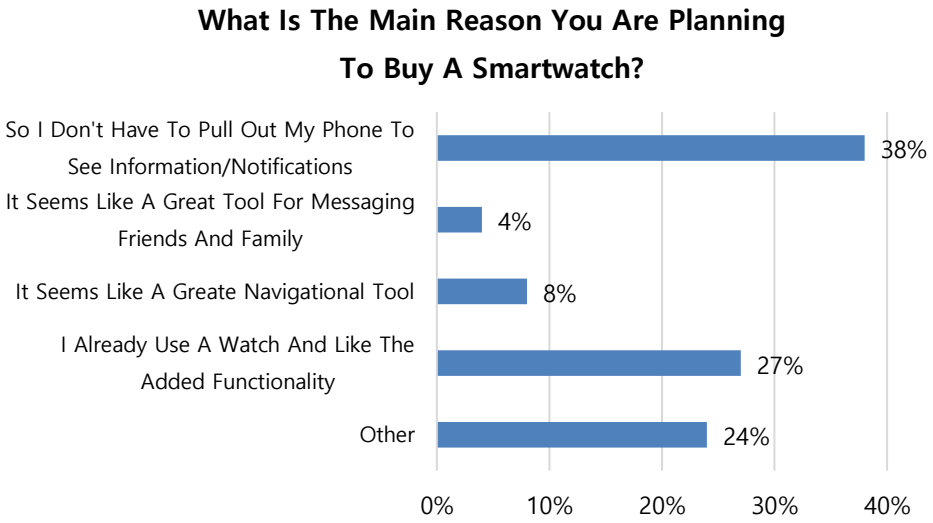


그림 1.4 스마트워치 구매 주요 이유[4]

하지만 불필요하거나 빈번하게 알림이 발생하는 경우, 사용자의 집중을 분산시키거나 스트레스를 주어 사용자의 경험을 저해하며[5]–[7], 진동 및 소리, 화면 표시 등으로 인하여 불필요한 전력 낭비를 발생시키는 문제점이 있다. 특히, 앞서 연구 배경에서 밝힌 바와 같이 스마트워치는 태생적으로 스마트폰에 비해 매우 적은 용량의 배터리가 탑재되어 이는 더욱 문제가 될 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 스마트워치의 주요 기능인 알림으로 인한 사용자의 소모 에너지 분석 및 최적화를 목적으로 한다.

## 1.3 연구 기여

본 논문의 주요 기여는 크게 다음 두 가지로 정리할 수 있다.

스마트워치에서 알림으로 인한 배터리 소모를 확인하기 위해 사용자 스터디를 진행하였으며, 이를 바탕으로 사용자의 알림 발생 빈도에 따라 배터리 lifetime이 적지 않게 감소할 수 있음을 보였다. 이를 위해 스마트폰을 알림 트레이스 및 사용 정보를 수집할 수 있도록 수정하여 스마트워치와 함께 실험 참가자에게 제공하였으며, 스마트워치의 알림 전력모델을 개발하여 수집된 데이터를 바탕으로 배터리 소모를 예측하였다.

다음, 스마트워치로 사용자가 인지한 알림이나 인지하지 못하는 알림의 삭제가 불필요하게 전달되는 것을 제시하며, 이를 줄일 수 있는 에너지 최적화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 사용자 context를 바탕으로 조건에 따라 스마트워치로의 알림 전달을 지연시킨 후, 사용자가 인지한 알림이거나 스마트워치에서 인지할 수 없는 알림 삭제의 경우 전달을 취소시킨다. 제안하는 기법을 수집한 사용자 트레이스를 바탕으로 시뮬레이션한 결과 알림 에너지의 13.4%를 줄였으며, 실제 사용자를 대상으로 평가 결과 알림 및 삭제 전달을 각각 20.5%, 22.3% 줄일 수 있었다.

## 1.4 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 실제 스마트워치 사용자 스터디 및 알림으로 인한 사용자의 배터리 소모 예측 결과를 제시한다. 3장에서는 스마트워치로의 불필요한 증폭된 알림 전달을 제시하며 사용자 문맥 및 지연을 통하여 이를 감소시킬 수 있는 최적화 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 수집한 사용자 알림 트레이스 및 실제 사용자를 대상으로 본 논문에서 제안한 기법의 에너지 및 알림 전달 감소 효과를 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 연구의 결론을 맺는다.

# 제 2 장 실제 사용자 알림 에너지 소모

## 2.1 사용자 알림 트레이스 수집

스마트워치의 알림으로 인한 배터리 소모가 문제가 될 수 있음을 확인하기 위하여, 실제 사용자의 알림 분석 및 에너지 소모 예측 연구를 진행하였다. 알림으로 인한 정확한 에너지 소모를 알기 위해서는 실제 사용자 사용 환경에서 소모 전력 측정이 필요하다. 그러나 일반적인 상용 제품에는 이를 정밀히 측정할 수 있는 센서가 탑재되어 있지 않으며, BMU (battery monitoring unit)의 경우는 정확도가 떨어지므로 측정에 적합하지 않다. 따라서 사용자 스터디를 통하여 사용자의 알림 트레이스를 수집 후, 이를 바탕으로 다음 2.2절에서 알림으로 인한 스마트워치의 배터리 소모를 예측한다.

사용자 스터디는 실험 참가자 5명을 대상으로 Google Nexus 5[10] 스마트폰과 LG Watch Urbane[11] 스마트워치를 제공하여 진행하였다. 제공된 Nexus 5는 커널 및 프레임워크를 수정하여 알림을 포함하여 이후 최적화 연구를 위한 필요한 사용 정보를 수집하여 주기적으로 전송되도록 하였다. 대표적으로 수집한 정보로는 알림 발생/업데이트/삭제 등 알림 트레이스와 응용 사용, 화면 on/off 이벤트, 사용자 touch를 10초 주기로 처음 또는 마지막을 기록한 timestamp 등

사용자 사용과 관련된 정보들이 있다.

표 2.1. 사용자별 알림 발생 및 삭제

| Set | Days | New/update noti. per day | Cancel noti. per day |
|---|---|---|---|
| User 1 | 7 | 32.1 | 16.4 |
| User 2 | 6 | 91.3 | 28.7 |
| User 3 | 6 | 890.2 | 147.0 |
| User 4 | 5 | 1229.0 | 61.6 |
| User 5 | 6 | 1345.5 | 69.5 |
| **Average** | **6** | **717.6** | **64.6** |

표 2.1은 사용자 스터디의 사용자별 수집 기간 및 평균 알림 발생량을 나타낸다. 사용자 평균 수집 기간은 6일이며, 하루 평균 717.6건의 알림이 발생하였고 64.6건의 알림이 삭제되었다. 알림 발생 횟수와 삭제 횟수가 같지 않은 이유는 알림 발생 시 기존 알림을 업데이트하는 경우가 존재하기 때문이다.

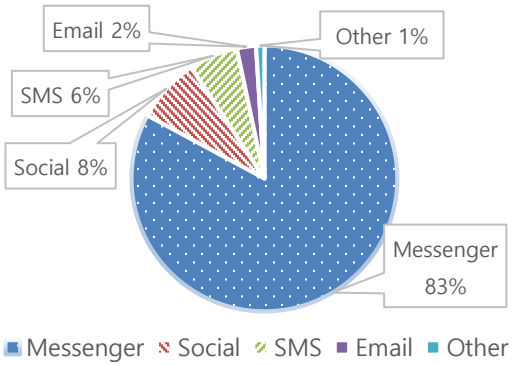


그림 2.1 알림 발생 응용의 평균 비율

그림 2.1은 추가적으로 분석한 사용자별 알림을 발생 시킨 응용의 평균 비율을 나타내며, 메신저 응용이 전체에서 83%를 차지하여 가장 많은 알림을 발생시켰다. 이러한 결과는 메신저 사용자 및 메신저를 플랫폼으로 한 다양한 서비스가 증가하고 있는 추세에 비추어 볼 때, 미래에도 알림의 중요성은 높을 것이며 알림 발생량 또한 증가할 것으로 예상된다.

## 2.2 알림으로 인한 배터리 소모

수집한 사용자 알림 트레이스로부터 스마트워치의 알림으로 인한 배터리 소모를 예측하기 위해 간단한 전력 모델을 개발하여 전력 소모 시뮬레이션을 수행하였다. 본 절에서는 알림 전력 모델 개발 및 알림으로 인한 사용자의 배터리 소모 예측 결과를 제시한다.

그림 2.2는 LG Watch Urbane의 배터리를 제거 후 Monsoon Power Monitor[12]를 사용하여 측정한 알림 발생 및 삭제 시 소모한 에너지를 나타낸다. 스마트워치 화면의 경우 사용하지 않을 때 화면을 끄는 screen_off 외 항상 ambient 모드로 시간 등을 표시하는 always_on 모드가 있다. Always_on 모드에서는 24.4mW, screen_off 모드에서는 14.3mW의 대기전력이 발생하였으며 이는 소모 에너지에서 제외하였다.

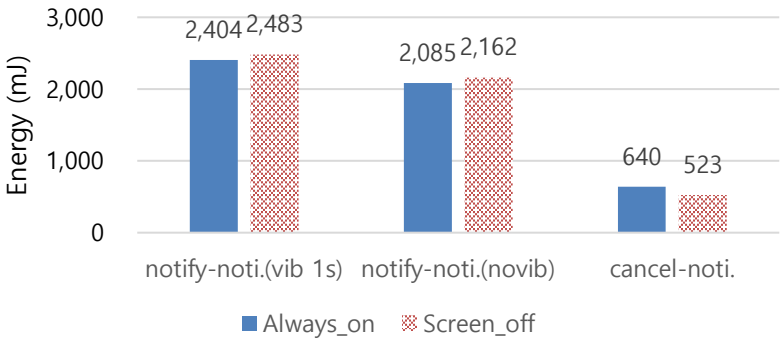


그림 2.2 알림으로 인한 에너지 소모
(notify−noti. 는 알림이 발생하였을 때를 의미하며
vib 1s는 진동 1초가 포함된 알림을 의미함)

각 모드 및 알림의 진동여부에 따라 에너지 소모에 차이가 발생하였는데, 이는 각 모드에서 알림 동작 특성에 기인한다. Screen_off 모드에서 약 3~4%의 에너지 소모가 더 큰 것은 알림이 발생할 때 처음 스크린을 켜기 위한 에너지가 추가로 필요하며, 알림 삭제 시 에너지 소모가 더 적은 것은 always_on 모드의 경우 삭제로 인한 애니메이션이 표시되며 이를 위한 오버헤드 때문으로 추정된다. 본 측정 결과는, 1회 알림의 에너지 소모를 보여 주지만, 실제 사용자의 알림 횟수를 이용하여 에너지 소모 예측에 사용하기에 적합하지 않다. 실제 사용자의 알림이 중첩되는 경우가 존재하며, 이 경우 에너지 소모가 알림 횟수에 비례하지 않기 때문이다.

알림이 중첩되는 경우에도 정확히 예측하기 위하여 알림 트레이스를 바탕으로 알림의 전력 소모를 시뮬레이션할 필요가 있다. 하지만 실제 알림의 전력 소모 그래프(그림 2.3)는 단순하지 않으며, 중첩될 수 있는 모든 경우의 조합을 고려하는 것은 불가능에 가깝다. 따라서 알림의 전력 소모를 단순화하여 시뮬레이션하되 검증 실험을 통하여 예측 오차를 제시한다.

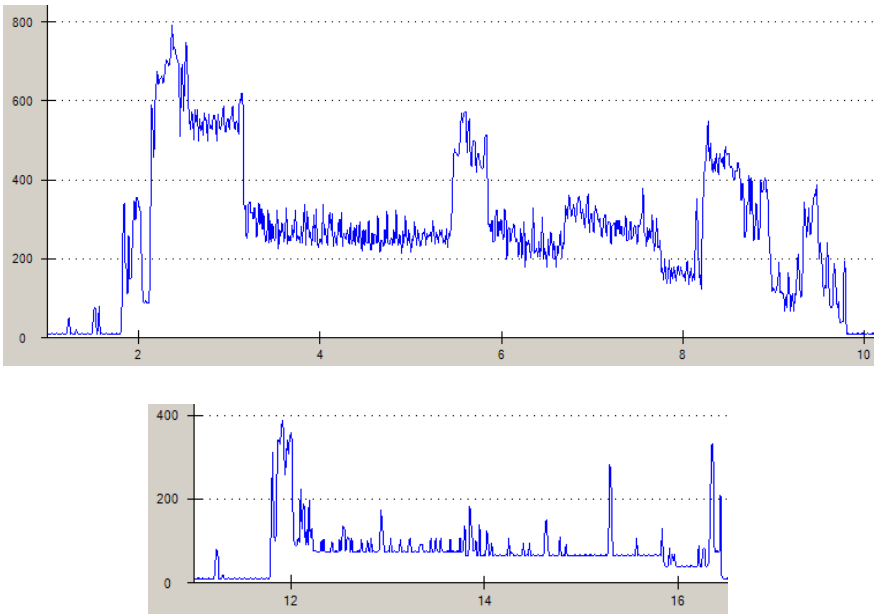


그림 2.3 스마트워치 알림의 전력 소모
(위 : always_off 모드에서 진동 1초가 포함된 알림 알림 발생시,
아래 : always_off 모드에서 알림 삭제시, 단위 : mW – 초)

시뮬레이션은 알림의 전력 소모를 시간에 따라 세 부분으로 나누어 단순화하여 알림 트레이스에 따라 소모 에너지를 더하였다. 알림이 중첩되는 경우는 실제 전력 소모가 큰 쪽의 소모 전력이 관찰되는 경향에 따라 큰 쪽의 소모 전력을 선택하도록 하였다. 표 2.2은 각 스마트워치 화면 모드 및 진동에 따라 알림 전력모델에 사용된 세 stage의 파라미터를 나타낸다.

표 2.2 알림의 stage별 소모 전력 및 길이

| Stage | Screen_off | | Always_on | |
|---|---|---|---|---|
| | Power(mW) | Length(ms) | Power(mW) | Length(ms) |
| Notify_S1 | 214.4 | 320 | 274.3 | 330 |
| Notify_S2 | 338.3 | 7320 | 361.0 | 6570 |
| Notify_S3 | 202.1 | 460 | 142.5 | 720 |
| Cancel_S1 | 190.7 | 300 | 240.1 | 250 |
| Cancel_S2 | 79.5 | 6840 | 117.3 | 3840 |
| Cancel_S3 | 57.2 | 610 | 79.4 | 2560 |

전력 모델 검증은 알림 2개의 발생 및 삭제를 완전히 겹치는 0초부터 두 알림 사이 간격을 0.5초씩 증가시켜 10초까지 반복하는 type 1 실험과 10분동안 랜덤으로 알림 발생 후 삭제를 5/10/20번 수행한 type 2 실험 수행하였다. 각 실험을 3회 진행하여 평균값을 사용하여 예측값과 실측 값을 비교하였으며, 표 2.3은 그 결과를 나타낸다. type 1의 경우 평균 4.0%, type2의 경우 평균 6.3%의 오차가 발생하였다.

표 2.3 전력 모델 검증 실험 예측 오차

| Exp. | Screen_off | Always_on |
|---|---|---|
| Type 1 | 2.3% | 5.8% |
| Type 2(5) | 4.5% | 5.6% |
| Type 2(10) | 5.0% | 8.3% |
| Type 2(20) | 7.4% | 7.0% |

그림 2.4 는 전력 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 통하여 구한 사용자별 하루 평균 알림으로 인한 배터리 소모를 나타내며, 사용자가 항상 스마트워치를 사용하는 것을 가정하였다. 그림 2.5는 알림 및 대기전력만 고려하였을 때 배터리 lifetime을 나타낸다. 시뮬레이션 결과, 알림이 빈번히 발생하는 *heavy_user*(User 3, 4, 5)의 경우 하루 평균 배터리의 35%를 알림으로 인하여 소모하였으며, 배터리 lifetime이 평균 53% 감소하였다. 이러한 결과는 알림으로 인하여 실제 사용자의 스마트워치 사용시간이 급감할 수 있음을 보여준다.

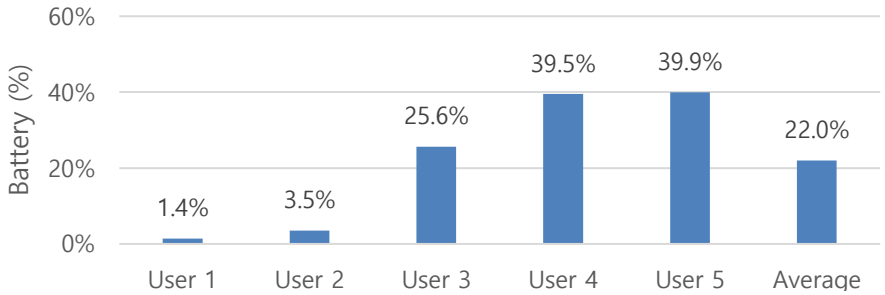


그림 2.4 알림으로 인한 하루 배터리 소모

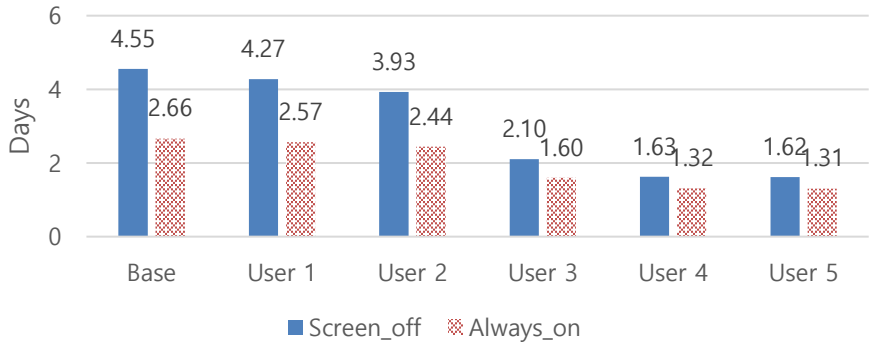


그림 2.5 사용자별 예상 배터리 lifetime

# 제 3 장 지연을 통한 불필요한 알림 전달 최적화

## 3.1 증폭된 알림 전달

알림은 스마트워치와 같은 멀티 디바이스를 사용하는 환경에서 증폭되어, 동시에 여러 디바이스에 의해 사용자에게 전달될 수 있다. 이러한 증폭된 알림은 사용자가 여러 디바이스를 통하여 알림을 확인할 수 있도록 하지만 불필요한 알림 전달을 발생시킬 수 있다.

그림 3.1은 알림 최적화를 위해 알림 전달 과정을 분석 중, 발견한 대표적인 불필요한 알림 전달 시나리오를 나타낸다. 스마트폰의 경우 스마트워치보다 큰 화면 및 편리한 UI를 제공하기 때문에 사용자는 스마트폰으로 인지한 알림을 다시 스마트워치에서 확인하거나 추가적인 상호작용을 필요로 하지 않는다. 따라서 사용자가 스마트폰을 통하여 인지한 알림은 스마트워치로 전달할 필요가 없으며, 이로 인하여 사용자의 경험을 저해하지 않는다.

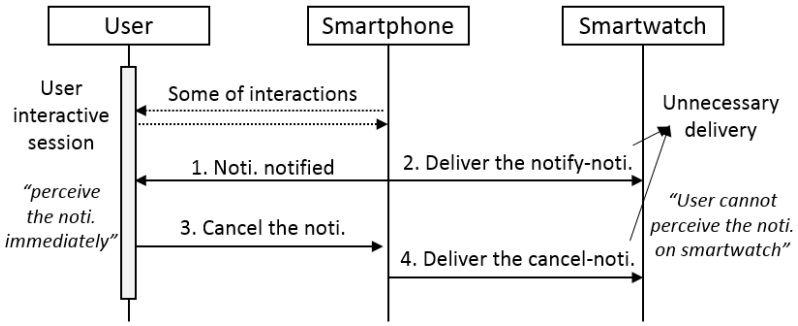


그림 3.1 불필요한 알림 전달 시나리오

알림 삭제 또한 불필요한 알림 전달을 발생시 킬 수 있다. 스마트폰 또는 스마트워치에서 알림 삭제가 발생하는 경우, 동일한 알림 상태를 위하여 반대편 디바이스에 알림 삭제를 전달하며, 이 경우도 본 논문에서는 한 종류의 알림 전달로 간주한다. 사용자가 스마트폰에서 알림을 삭제하는 경우, 사용자는 스마트폰을 사용 중이므로 스마트워치에서 알림 삭제를 인지하지 못 한다. 이러한 알림 삭제는 스마트워치의 효율성을 위하여 모아서 전송할 수 있으며, 삭제된 알림에 대하여 새 알림이 발생하는 경우 먼저 발생한 삭제는 불필요한 전달이 된다.

## 3. 2 SmartNotifier

본 절에서는 앞서 살펴본 불필요한 증폭된 알림 전달을 줄일 수 있는 최적화 기법(SmartNotifier)을 제안한다. 제안하는 기법은 스마트폰의 알림 동작은 변화시키지 않으며, 스마트워치로 알림 전달 전 3종류의 지연을 통하여 불필요한 전달을 줄이되 알림 발생의 경우 지연시간에 상한을 두어 사용자 경험 저하를 최소화 한다.

New/update 알림 전달 지연

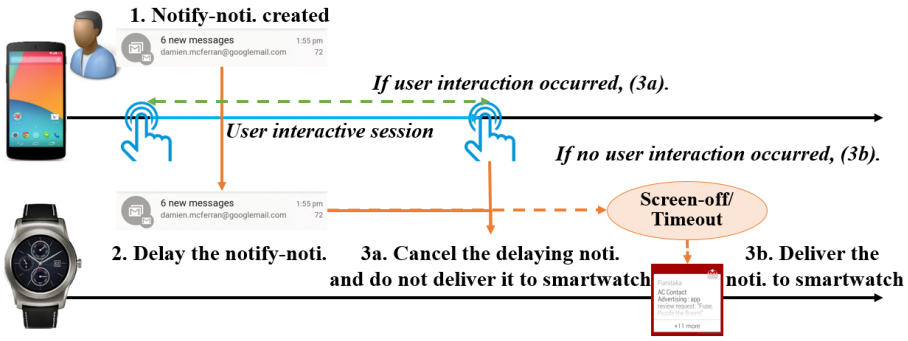


그림 3.2 New/update 알림 전달 지연

그림 3.2는 사용자가 스마트폰 사용 중 new/update 알림 발생시 지연을 통하여 불필요한 스마트워치로의 전달을 줄이는 예를 보여준다. 사용자가 스마트폰을 사용하는 중 발생하는 알림(그림에서 1.)은 사용자가 스마트폰을 통해 알림을 인지할 수 있는 기회가 있으므로 스마트워치로 즉시 전달하지 않고 일정 시간 지연시킨다(2.). 알림 지연 중 사용자 상호작용이 발생하는 경우 알림을 사용자가 인지한 것으로

스마트워치로의 전달을 취소시킨다(3a.). 만약 알림을 지연 후 일정 시간 사용자 상호작용이 없거나 화면이 꺼지는 경우, 사용자가 인지하지 못한 것으로 판단하여 스마트워치로 전달한다(3b.). 이러한 알림 전달 지연을 통하여 인지된 알림은 이후 알림 삭제가 발생시, 알림이 실제 스마트워치로 전달되지 않았으므로 삭제 또한 전달하지 않아도 된다.

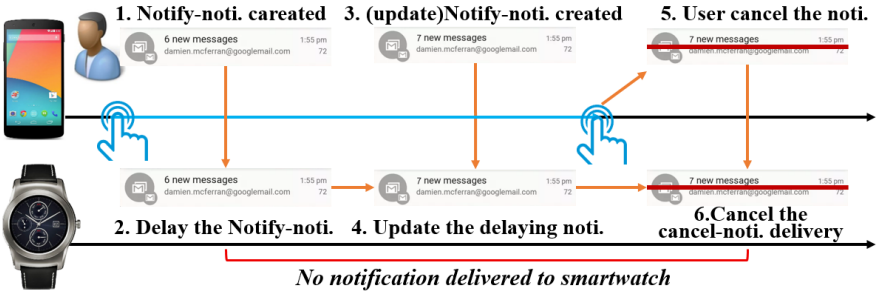


그림 3.3 Update 알림 발생시 지연 중인 알림 갱신

그림 3.3은 전달 지연 중인 알림에 대하여 update 또는 삭제가 발생하였을 때 동작을 나타낸다. 지연 중인 알림(그림에서 2.)은 아직 스마트워치에 전달된 상태가 아니므로 update 또는 삭제 발생 시(3., 5.) 지연 중인 알림만 update시키거나 삭제시킬 수 있다. 이러한 지연 및 알림 인지를 통하여 사용자가 스마트폰 사용 중 발생하는 대부분의 알림을 스마트워치로 전달하지 않을 수 있다.

New/update 알림 삭제 전달 지연

알림 삭제 전달 또한 지연을 통해 줄일 수 있으며 그림 3.4는 이를 보여준다. 한 가지 차이점은 알림 삭제는 알림 new/update 알림 전달보다 중요성이 낮기 사용자에게 덜 민감하기 때문에 더 오랜 시간 지연시킨다. 사용자가 스마트폰 사용 중 알림을 삭제하면 그 즉시 동일한 알림 상태를 위하여 스마트워치로 삭제가 전달된다. 그러나 이 경우 사용자는 스마트폰을 사용 중이므로 스마트워치의 삭제를 인지하지 못한다. 따라서 이러한 알림 삭제 전달을 화면이 꺼지는 시점(그림에서 5.)까지 지연하여 전달한다면 사용자가 스마트폰 사용 중 발생하는 모든 알림 삭제를 모아 전달할 수 있다. 이외 삭제 전달 지연 중인 알림에 대하여 새 알림이 발생하는 경우에도 삭제 알림 전달을 줄일 수 있다.

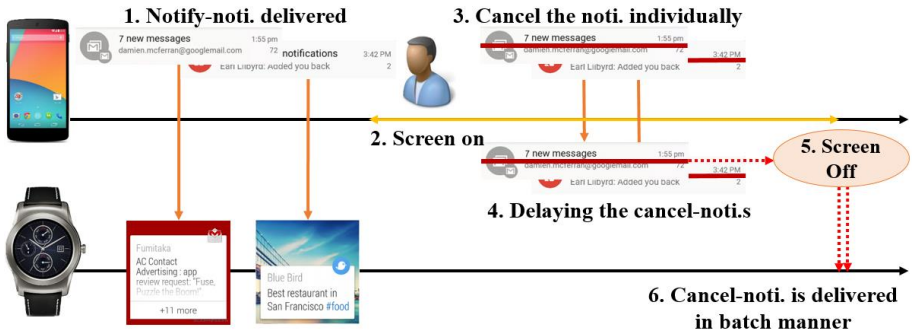


그림 3.4 알림 삭제 지연

**메신저 알림 특성을 이용한 알림 전달 감소**

메신저 등 일부 응용은 알림을 발생시킬 때 알림 효과 및 사용자 편의를 위하여, 추가적으로 전력을 소모하여 짧은 시간 화면을 켠다. 본 연구에서는 이러한 screen-on 알림과 스마트워치의 알림을 동시에 발생시키는 것은 지나치게 에너지 소모가 큰 비효율적 알림으로 보았다. 따라서, screen-on 알림의 경우 사용자가 스마트폰에서 인지하지 못한 경우에만 스마트워치로 전달하도록 하였다. 이를 위하여, screen-on 알림 발생시 선행하는 사용자 인터렉션이 존재하지 않더라도 new/update 알림 전달 지연과 같이 전달을 지연시킨다. 이러한 알림은 보통 10초 미만으로 화면을 켜므로, 사용자가 인지 하지 못하더라도 짧은 시간 지연 후 스마트워치로 알림이 전달된다.

## 3. 3 SmartNotifier 구현

### 3.3.1. 안드로이드 알림 시스템

본 관에서는 SmartNotifier의 구현에 앞서 안드로이드의 알림 시스템 및 스마트워치로의 알림 전달과정을 설명한다.

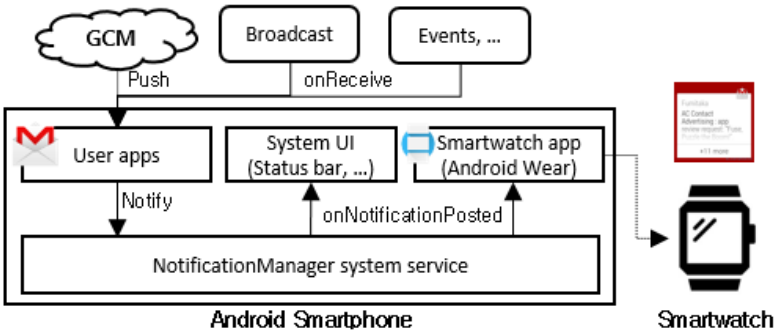


그림 3.5 안드로이드 알림 발생 및 스마트워치로의 전달

그림 3.5와 같이 응용은 GCM (Google Cloud Messaging) 이나 원격 서버의 정보 업데이트, broadcast, alarm event 등 다양한 조건 및 상황에 따라 안드로이드에서 제공하는 notification API를 통하여 알림을 생성한다. 응용이 알림을 생성하기 위해서는 알림 내용(title, content 등)과 알림 속성(진동, 소리, LED, 알림 표시 형태 등) 등을 나타내는 Notification 객체를 생성하여 NotificationManagerService에 알림을 전달(notify)한다. 알림은 안드로이드 시스템 전체에 영향을 미칠 수 있는 기능으로 시스템 서비스인 NotificationManagerService에 의해

관리되며, 전달된 알림은 올바른지 검사 후 내부적으로 관리되는 notification list에 추가된다. 생성된 알림은 응용이 취소하거나 사용자가 StatusBar 등을 통하여 삭제할 수 있다. 이 경우, 마찬가지로 NotificationManagerService의 알림 삭제 메소드가 호출되어 notification list에서 해당 알림이 삭제된다.

NotificationManagerService는 알림 발생 및 알림 삭제를 다른 시스템 컴포넌트 또는 사용자 응용에 통보하는 기능을 제공한다. (E.g. StatusBar는 대표적인 알림 발생 및 삭제에 따라 동작하는 시스템 UI 응용이다.) 이를 사용하기 위해서는 NotificationListenerService를 상속받아 각각 알림 발생/삭제가 발생할 때 호출되는 callback 메소드를 구현한 다음, NotificationManagerService에 등록하면 된다.

일반적으로 스마트워치와 안드로이드폰과 연동을 위해서는 스마트폰에 스마트워치 응용 설치가 필요하다. 이러한 스마트워치는 위 기술한 NotificationManagerService/ListenerService를 활용하여 스마트워치에 알림 기능을 제공한다. 본 논문의 실험환경에서 LG Watch Urbane은 OS로 Google Android Wear를 사용하며, 해당 OS를 사용한 스마트워치와 연동하기 위해서는 스마트폰에 Google Android Wear 응용이 필요하다. Android Wear 응용은 스마트폰에 발생하는 알림 중 ON_GOING(주로 백그라운드로 진행 중인 작업 표시) 또는

LOCAL_ONLY flag가 설정되지 않은 알림 등을 스마트워치로 bluetooth 통신을 통해 전달하며, 스마트워치 또는 스마트폰에서 알림 삭제가 발생하는 경우 이를 전달 받아 반대편 디바이스의 알림이 삭제되도록 한다.

### 3.3.1. SmartNotifier 구조 및 알고리즘

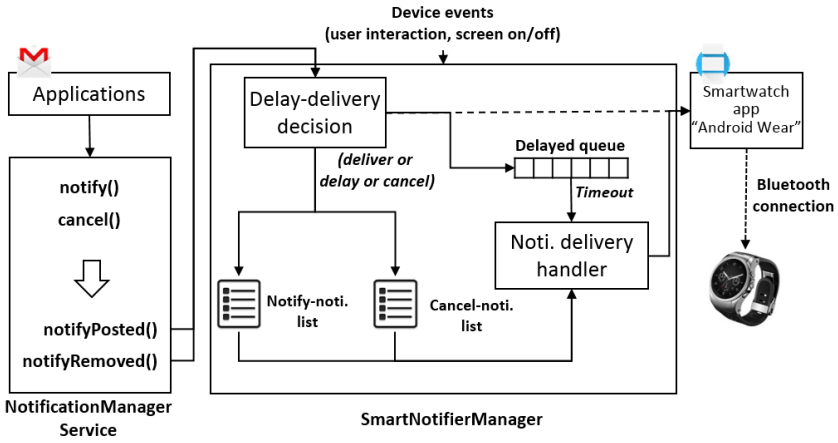


그림 3.6 SmartNotifier 구조 및 알림 전달

SmartNotifier를 안드로이드 5.1.1이 탑재된 Google Nexus 5에서 구현하였으며, 그림 3.6는 그 구조 및 알림의 전달 과정을 보여준다. 실제 알림 전달 및 삭제를 중계하는 응용인 Google Android Wear는 소스 코드가 공개되어 있지 않아 수정이 불가능하다. 따라서 안드로이드 프레임워크의 NotificationManagerService를 수정하여 스마트워치로의

알림 전달을 제어하였다. SmartNotifierManager는 AndroidWear 응용으로의 알림 발생 및 삭제 전달을 가로채어 각각 리스트에 저장 및 추적하며, 조건에 따라 전달을 지연 및 취소한다.

알림이 발생하거나 삭제되면 우선 해당 알림을 곧바로 스마트워치로의 전달을 지연할지 결정한다. 결정에 필요한 스마트폰 스크린 on/off 및 사용자 activity event는 broadcast receiver를 통하여 수신 받는다. 추가적으로 발생한 알림 및 삭제는 내부 알림 리스트를 통하여 관리한다. 지연된 알림의 timeout이나 screen off 등 event 발생 시 Notification delivery handler가 조건에 따라 지연된 알림을 Smartwatch app으로 전달하여 스마트워치로 알림이 전송되도록 한다.

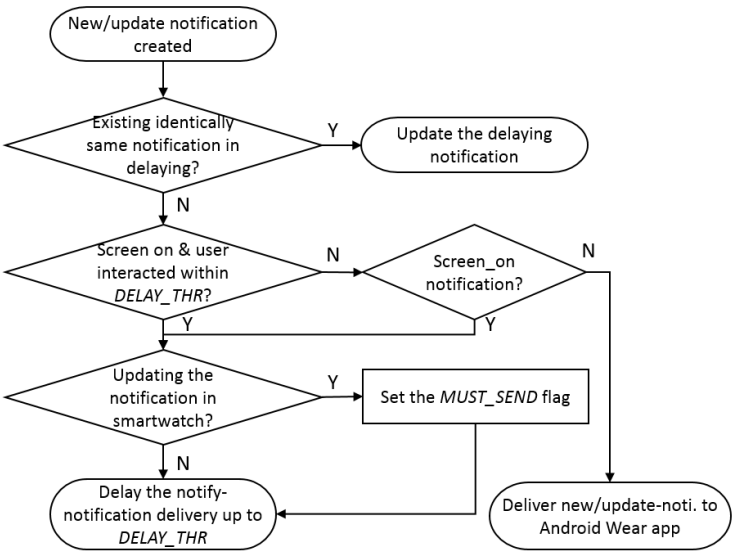


그림 3.7 New/update 알림 전달 지연 알고리즘 흐름도

그림 3.7은 알림이 발생하였을 때, 알림 지연을 결정하기 위한 알고리즘을 나타낸다. 먼저 발생한 알림이 현재 지연 중인 알림의 update 인 경우, 지연 중인 알림만 갱신한다. 그렇지 않은 경우는 현재 스크린이 켜진 상태이며, 최근 사용자 인터렉션이 *DELAY_THR* 이내 발생 한 경우에는 사용자가 사용중인 것으로 판단하여 알림을 지연시키며, 추가적으로 screen_on 알림인 경우도 지연시킨다. 사용자 사용의 판단에 있어 사용되는 *DELAY_THR*은 screen 절전 시간을 이용하였다. 이 시간은 사용자가 사용하지 않을 때 자동으로 screen이 꺼질 때까지의 대기 시간으로, 지나치게 짧을 경우 스크린이 사용 중일 때 꺼지게 되며, 길 경우 불필요한 배터리를 낭비하게 되므로, 사용자는 이 값을 자신의 스마트폰 입력 간격에 비추어 개인화된 값을 설정한다. 따라서 해당 값을 이용하여 *DELAY_THR*을 screen 절전 시간 * 0.5으로 사용하였다.

사용자가 스마트폰을 사용 중이지 않고 screen_on 알림이 아닌 경우 현재 사용자가 스마트폰을 사용 중이 아니므로 Android Wear 응용으로 전달하여 알림이 스마트워치로 전달되도록 한다. 지연하기로 결정된 경우 알림이 이미 스마트워치에 전달된 알림이 존재하여 이를 update시키는지 검사한다. 이미 스마트워치에 전달된 알림의 업데이트인 경우 사용자가 스마트폰에서 인지하더라도, 이후 삭제 또는 업데이트 발생 시 동기화를 위하여 스마트워치로 전송되어야 한다. 따라서 추가적으로 *MUST_SEND*

flag를 설정하여 해당 알림이 반드시 전달되어야 하는 알림으로 표시한다.

그림 3.8은 알림 삭제가 발생하였을 때, 지연 전달을 결정하기 위한 알고리즘이다. 스크린이 켜진 경우 알림을 지연시키며, 지연 중인 알림이 존재하는 경우 해당 지연전달을 취소시킨다. 그렇지 않은 경우 해당 삭제할 알림이 이미 스마트워치에 전송되었는지 검사한다. 스마트워치에 전송된 알림의 삭제인 경우, 해당 알림이 새로 발생하지 않는 이상 동기화를 위해 반드시 전달하여야 하며 이를 위해 *MUST_SEND* flag를 설정한다.

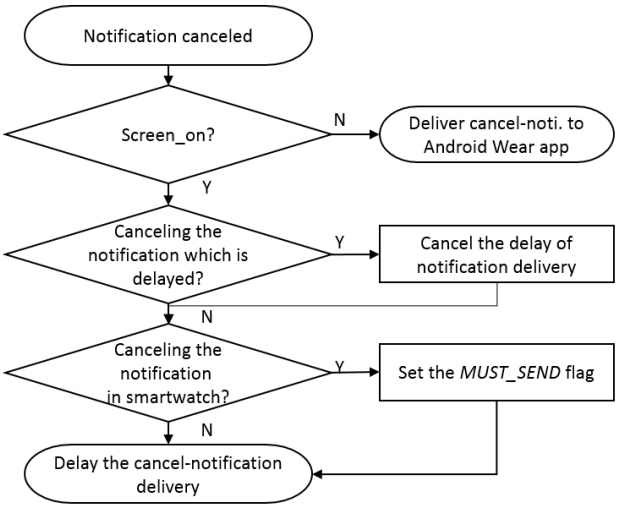


그림 3.8 알림 삭제 전달 지연 알고리즘 흐름도

그림 3.9는 지연 중인 알림의 인지 및 지연된 알림을 전달하는 알고리즘을 나타낸다. 사용자의 인터렉션이 발생하는 경우 지연 중인 모든 알림의 지연을 취소하고 *USER_PERCEIVED* flag를 설정한다. 지연 중인 알림의 timeout이나 스마트폰의 화면이 꺼진 경우 지연 중인 알림 중 *USER_PERCEIVED* flag가 설정되지 않거나, *MUST_SEND* flag 설정된 알림을 모두 전달하고, 전송된 알림을 제외하고 리스트의 알림을 초기화한다.

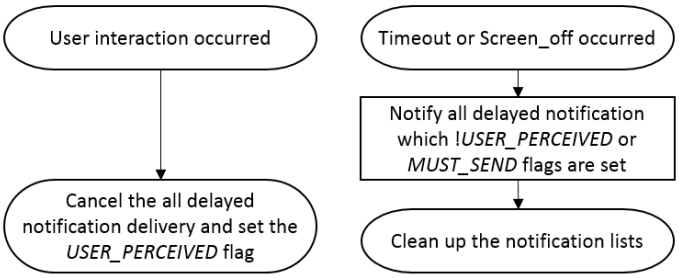


그림 3.9 알림 인지 및 지연 전달 알고리즘 흐름도

# 제 4 장 실험 평가

## 4.1 실험 환경

SmartNotifier의 효과를 확인하기 위해 시뮬레이션 및 실제 사용자 평가를 수행하였다. 2장에서 사용자 트레이스 수집 시 알림 외 화면 on/off 및 주기적 터치 이벤트를 수집하였으며, 시뮬레이션은 이를 바탕으로 수행하였다. 단, 실제 사용자의 경우 Android Wear 응용의 버전에 따라 전달되는 알림의 차이가 발생할 수 있으며 사용자가 특정 응용의 알림을 차단할 수 있으나, Android Wear 응용은 소스가 공개되어 있지 않으며, 차단 여부는 외부에서 알 수 없어 모든 알림이 전달된 것을 가정하였다.

실제 사용자 평가의 경우, SmartNotifier 검증 및 실제 사용에 있어 불편이 있는지 확인하기 위하여 실험 참가자에게 SmartNotifier가 구현된 Nexus 5와 LG Watch Urbane을 제공하여 수행하였다.

## 4. 2 실험 결과

### 시뮬레이션 평가

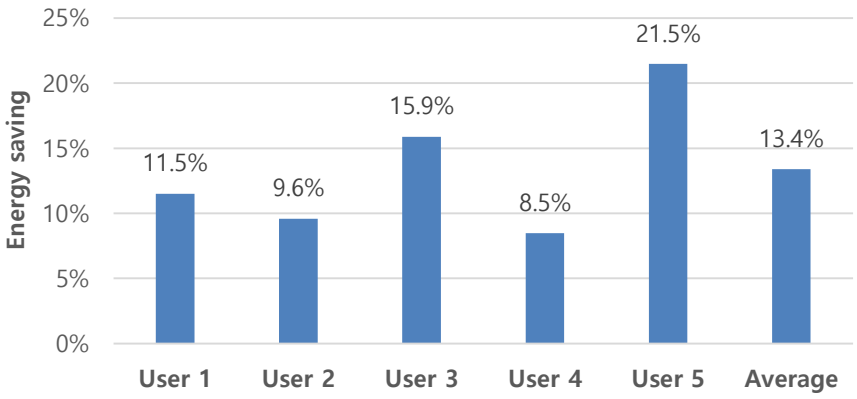


그림 4.1 사용자별 알림 소모 에너지 감소

그림 4.1은 2장에서 수집한 사용자의 트레이스를 바탕으로 SmartNotifier의 시뮬레이션 결과 얻은 사용자별 알림으로 인한 소모 에너지 감소를 나타내며, 평균 13.4%의 알림 에너지 소모를 줄였다. SmartNotifier로 인한 에너지 이득 비율이 사용자마다 다른데 추가적인 분석 결과, 하루 중 화면이 켜진 시간과 상관관계를 보였으며, 이는 SmartNotifier의 동작 특성에 기인한다. 즉 스마트폰을 자주 사용하는 사용자일수록 알림이 발생하였을 때 스마트폰으로 인지할 가능성이 높기 때문에 SmartNotifier로 인한 이득이 큰 경향을 보였다.

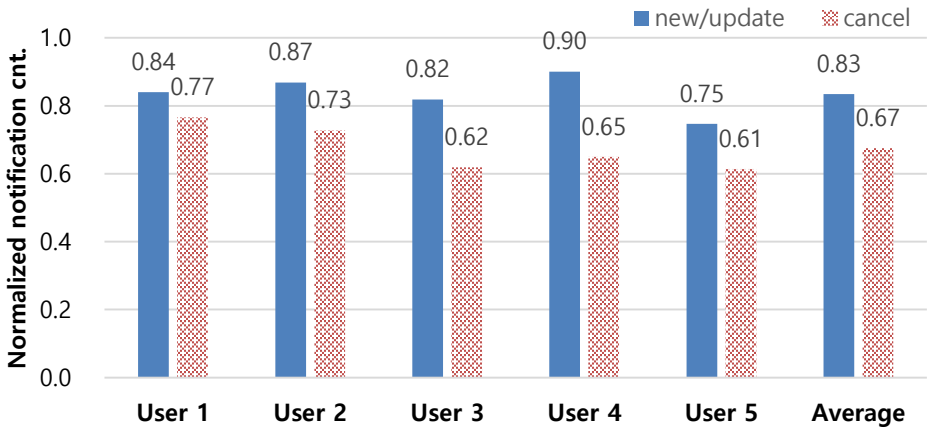


그림 4.2 사용자별 알림 전달 횟수 변화

표 4.1 사용자별 알림 전달 상세

| (단위 : %) | User 1 | User 2 | User 3 | User 4 | User 5 | Avg. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 지연시킨 new/update 알림 비율 | 19.1 | 15.3 | 22.7 | 13.3 | 29.6 | 20.0 |
| 감소시킨 new/update 비율 | 16.0 | 13.1 | 18.2 | 10.0 | 25.3 | 16.5 |
| Update 로 인한 감소 비율 | 2.7 | 3.3 | 7.4 | 4.8 | 11.8 | 6.0 |
| 삭제 또는 인지로 인한 감소 비율 | 13.3 | 9.9 | 10.8 | 5.2 | 13.6 | 10.6 |
| **전달된 new/update 알림 비율** | 84.0 | 86.9 | 81.8 | 90.0 | 74.7 | 83.5 |
| 지연시키지 못한 알림 cancel 비율 | 0.9 | 6.4 | 10.9 | 1.3 | 2.9 | 4.5 |
| 감소시킨 알림 cancel 비율 | 23.5 | 27.3 | 38.1 | 35.1 | 38.6 | 32.5 |
| 지연 전달된 알림 cancel 비율 | 75.7 | 66.3 | 51.0 | 63.6 | 58.5 | 63.0 |
| **전달된 알림 cancel 비율** | 76.5 | 72.7 | 61.9 | 64.9 | 61.4 | 67.5 |

그림 4.2 및 표 4.1은 SmartNotifier를 적용하였을 때, 스마트워치로 전달되는 알림의 전달 횟수의 변화 및 지연 상세를 나타낸다. New/update 알림 전달의 경우 사용자 평균 20.0%의 알림을 지연시켜

그 중 82.7%의 알림을 제거하여 최종적으로 전체 알림 중 16.5%의 알림을 감소시켰다. 알림 삭제(cancel) 전달의 경우 전체 95.5%의 전달을 지연시켰으며, 평균 32.5%의 전달을 감소시켰다. 알림 횟수 감소 비율에 비해 에너지 감소 비율이 더 작은 이유는, 중첩된 알림이 줄어드는 경우 에너지 감소 비율이 전달 횟수 비율에 비해 더 작기 때문이다.

그림 4.3은 알림 및 대기전력 소모만 고려하였을 때 SmartNotifier 적용시 배터리 lifetime의 증가이다. 알림이 light_user (User 1, 2)의 경우 효과가 적으나(1% 미만) 빈번한 heavy_user (User 3, 4, 5)의 경우 평균 9.1%가량의 lifetime이 증가하였다.

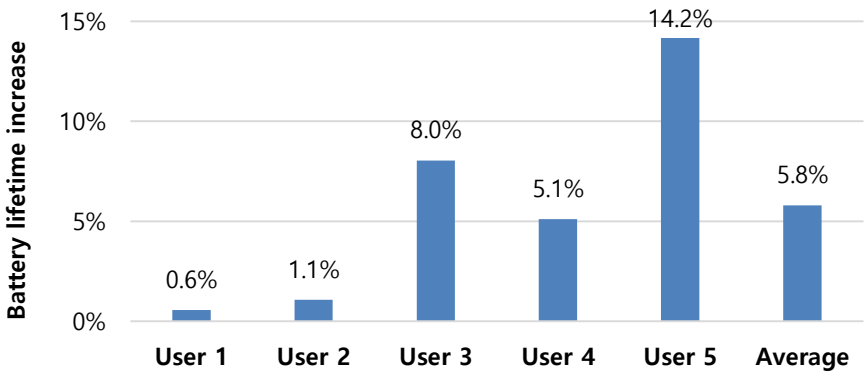


그림 4.3 사용자별 배터리 lifetime 증가

그림 4.4은 SmartNotifier를 적용하였을 때 스마트워치로 new/update 알림이 지연 전달 되는 경우 그 시간의 분포이다. 모든 사용자가 screen 절전시간을 30초로 사용하였고, 그에 따라 최대 지연시간은 15초이며, 지연 전달된 경우 사용자 평균 7.3초 지연되었다.

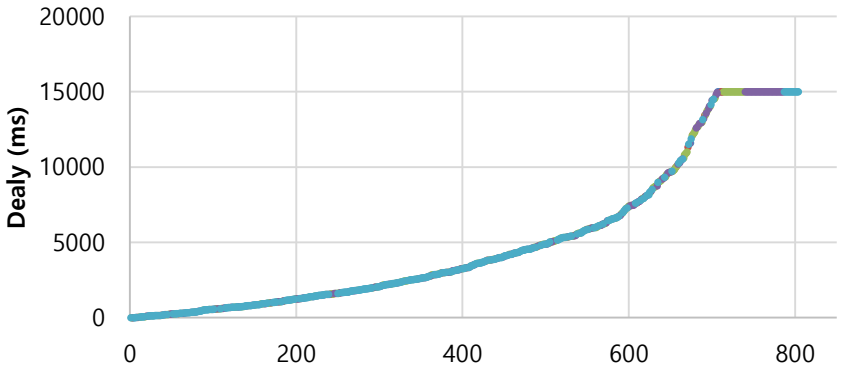


그림 4.4 알림 지연 전달 시간 분포

실제 사용자 평가

표 4.2 사용자별 하루 평균 알림 전달 상세

| | User A | User B |
|---|---|---|
| **전체 new/update 알림 수** | **75.7** | **187.3** |
| 지연시킨 new/update 알림 수 | 25.0 (33.0%) | 32.0 (17.1%) |
| 감소시킨 new/update 알림 수 | 19.0 (25.1%) | 29.7 (15.8%) |
| Update 로 인한 감소 수 | 3.0 (4.0%) | 10.0 (5.3%) |
| 삭제 또는 인지로 인한 감소 수 | 16.0 (21.1%) | 19.7 (10.5%) |
| **전달된 new/update 알림 수** | **56.7 (74.9%)** | **157.7 (84.1%)** |
| **전체 알림 삭제 수** | **52.7** | **74.3** |
| 지연시키지 못한 알림 삭제 수 | 0.7 (1.3%) | 5.3 (7.2%) |
| 감소시킨 알림 삭제 수 | 14.0 (26.6%) | 13.3 (17.9%) |
| 지연 전달된 알림 삭제 수 | 38.0 (72.2%) | 55.7 (74.9%) |
| **전달된 알림 삭제 수** | **38.7 (73.4%)** | **61.0 (82.1%)** |

표 4.1은 SmartNotifier를 구현한 Nexus 5와 스마트워치를 두 명의 실험 참가자에게 제공하여 6일간 실험하되 마지막 3일은 SmartNotifier을 적용하여 실험한 결과를 나타낸다. 전체 new/update 알림 전달 중 평균 25%의 알림을 지연시켰으며, 이 중 update 또는 삭제, 사용자에게 인지되어 평균 20.5%의 알림을 감소시킬 수 있었다. 삭제 알림 전달의 경우 경우 주로 사용자에 의해 발생하기 때문에 대부분인 95.3%를 지연시킬 수 있었고 전체 알림 삭제 전달 중 22.3%를 감소시킬 수 있었다. New/update 전달과 삭제 전달을 각각 지연 시킨 횟수 대비 감소 횟수를 보면, 삭제 전달은 new/update 알림

전달에 비해 적은 비율을 감소시켰는데, 이는 동기화를 위해 반드시 스마트워치에 전달되어야 하는 경우가 존재하기 때문이다.

추가적으로, 실험 종료 후 참가자에게 SmartNotifier의 알림 지연으로 인한 불편함 및 알림 지연 전달 인지 여부를 설문하였다. 그 결과 모두 불편함은 느끼지 못하였으며, 참가자 중 1명은 SmartNotifier로 인하여 알림이 지연 전달 되는 것을 인지하지 못하였다.

# 제 5 장 결 론

## 5.1 결론

최근 웨어러블 디바이스 중 빠르게 보급 중인 스마트워치는 태생적으로 적은 배터리 용량으로 인하여 효율적인 전력관리가 중요하다. 본 논문에서는 먼저 스마트워치의 중요 기능 중 하나인 알림이 적지 않은 에너지를 소모함을 사용자 스터디를 통하여 보였으며, 불필요한 알림이 스마트워치로 전달되는 것을 줄여 스마트워치의 에너지 소모를 감소시키는 최적화 기법을 제안하였다.

스마트폰에서 알림이 발생하는 경우 사용자의 편의를 위하여 스마트워치로 전달되나, 사용자가 스마트폰으로 인지한 알림이나 스마트워치에서 인지할 수 없는 알림 삭제 또한 불필요하게 전달된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기법은 사용자 문맥을 바탕으로 조건에 따라 스마트워치로의 알림 전달을 지연시킨 후, 불필요한 알림의 경우 전달을 취소시킨다. 제안 기법의 시뮬레이션 평가 결과, 알림으로 인한 에너지 소모의 13.4%를 감소시켰으며, 실제 사용자 평가에서 사용자의 경험 저하 없이 알림 및 삭제 전달을 각각 20.5%, 22.3% 감소시킬 수 있었다.

## 5.2 향후 연구

본 논문에서 제안하는 기법은 지연 시간에 있어 사용자의 알림별 중요도를 고려하지 않았다. 사용자는 알림을 발생시킨 응용, 발생 시간 및 장소, 알림의 내용 등 여러 조건에 따라 알림의 중요도를 다르게 판단하며, 이를 활용한 스마트 알림(smart notification)[8]-[9]에 대한 기존 연구들이 존재한다. 제안 기법에 추가적으로 알림의 중요도를 고려하여 낮을 경우 지연시간을 더 늘리거나 또는 무시하더라도 사용자 경험을 저해하지 않을 것이다.

또한 알림 전달을 제어하는데 있어 Android Wear 응용의 경우 소스가 공개되어 있지 않으며 Android Wear 플렛폼의 개발환경이 공개되어 있지 않아 스마트폰에 국한하여 다루었다. 사용자가 스마트워치로 알림에 대하여 응답 또는 삭제하는 경우 이는 스마트폰으로 전달되며, 제안 기법과 같은 방식으로 사용자가 스마트폰에서 인지하지 못하는 경우 전달을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

끝으로, 스마트워치의 정보를 활용할 경우 추가적으로 알림의 전달이 불필요한 경우를 찾을 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해 스마트폰으로 데이터 전송이 필요하여 적지 않은 오버헤드를 발생시 킬 수 있으나, 이러한 문제는 다른 통신이 발생할 때 피기백킹(piggybacking) 방식으로 같이 보내거나 향후 통신기술이 발달함에 따라 줄어들 것으로 예상된다.

# 참고문헌

[1] Smart wearable: worldwide market trends, forecasts and strategies 2014-2020, Analysys Mason, 2014.

[2] Worldwide Quarterly Wearable Device Tracker, IDC Research, 2015.

[3] ChangeWave: Apple Watch Owners Survey, 451 Research, 2015.

[4] Why people want smartwatches, BI Intelligence, 2014.

[5] S. Yoon, S. Lee and J. Lee, K. Lee, "Understanding Notification Stress of Smartphone Messenger App", in *Proc. of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2014.

[6] J. Smith, A. Russo, A. Lavygina, and N. Dulay, "When did your smartphone bother you last?", in *Proc. of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2014.

[7] T. Westermann, S. Moller, and I. Wechsung, "Assessing the Relationship between Technical Affinity, Stress and Notifications on Smartphones", in *Proc. of the International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2015.

[8] D. Weber, A. S. Shirazi, and N. Henze, “Towards Smart Notifications using Research in the Large”, in *Proc. of the International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2015.

[9] A. Mehrotra, M. Musolesi, R. Hendley, and V. Pejovic, “Designing Content-driven Intelligent Notification Mechanisms for Mobile Applications”, in *Proc. of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2015.

[10] LG Electronics, “LG Nexus5”, http://www.lg.com/us/cell-phones/lg-D820-Sprint-Black-nexus-5, 2013.

[11] LG Electronics, “LG Watch Urbane”, http://www.lg.com/us/smartwatch/urbane, 2015.

[12] Monsoon Solutions, “Power Monitor”, https://www.msoon.com/LabEquipment/PowerMonitor,2007.

# Abstract

## Analyzing and Deliveries Optimizing Techniques for Smartwatch Notification

Hajong Kim
Dept. of Computer Science and Engineering
College of Engineering
The Graduate School
Seoul National University

A notification is a key feature on smartphones that proactively informs important events or information to the user on time. Smartwatch is one type of wearable devices that spreads rapidly in daily life and also has a notification feature. However, the smartwatch has a small battery capacity and the notification can cause the considerable energy consumption due to the device wakeup, screen-on, vibrations, etc. To know the battery drains by the notification on the smartwatch, we conducted a user study and simulated the power consumption of notification. As a result, we found that the notification can drain the battery up to 40% of total capacity per day for user who is notified frequently. To optimize this, we analyzed the notification-delivery between the smartphone and smartwatch, and found the unnecessary deliveries due to the amplification of notification. Most of notifications on

smartphone are delivered to smartwatch without consideration of user contexts. Thus, the notification which is already perceived by user and the cancellation of notification that user cannot be perceived on smartwatch are unnecessarily delivered to smartwatch. To relieve this problem, we propose the notification-delivery optimization technique, called SmartNotifier that reduces the unnecessary notification delivery using 3 types of delayed delivery based on user context. The proposed technique reduces the energy consumption of notification by 13.4% on simulation and reduces the new-update(cancel) notification delivery by 20.5%(22.3%) in the real world experiment.

**keywords : Wearable Device, Smartwatch, Notification, Energy Optimization**
**Student number : 2014-21799**