

Predict Speed of Tennis Serve with Sound

SeungRok BAEK, Department of Computer Science and Engineering, University of Seoul

1. Introduction

최근 테니스를 즐기는 젊은 세대들이 많아지고 있다. SNS에 “테린이” (테니스와 어린이를 합성한 신조어) 라는 해쉬태그를 검색하면 테니스를 즐기는 젊은 이들의 사진이 수십만장이 뜨고 [1] 신세계 그룹의 통합 온라인몰 SSG닷컴에 의하면 올해 1~9월의 테니스용품 매출은 전년 동기보다 46%나 신장하였다. 품목별로는 전년보다 테니스공이 287% 늘었고, 테니스 가방이 65%, 테니스화가 20%로 뒤를 이었다. 또한 테니스 라켓의 판매량이 전체 라켓 매출 가운데 1위를 차지한 것으로 비추어볼 때, 테니스에 새롭게 입문하고, 즐기는 사람이 최근들어 늘었음을 보인다. [2]

테니스의 실력을 높이고 싶은 사람들을 위한 웨어러블 디바이스가 개발되어 왔다. 프랑스의 테니스 전문 기업 중의 하나인 Babolat 사의 Play라는 라켓은 라켓의 손잡이 부분 전체가 하나의 디바이스로, 라켓이 주는 진동을 측정하여 블루투스를 통해 스마트폰으로 전송하고 이 결과를 분석, 가공하여 사용자에게 다양한 데이터를 제공하는 시스템을 가지고 있다. [3] 뿐만 아니라 Babolat 사는 아대 형태의 스마트 밴드를 제작하여 손목의 움직임, 속도를 측정하고 이를 통해 공의 스핀이나 테니스 스타일을 분석하는 웨어러블 디바이스를 개발하였다. [4] 비슷하게 또 다른 스포츠 전문 기업 Head 사는 기존의 Zepp 사와 협업하여 테니스 라켓에 달 수 있는 웨어러블 디바이스를 개발하였다. 이 디바이스는 테니스 라켓의 butt cap 부

분에 부착하여 사용하는 것으로 앞서 언급한 Babolat 사의 Play와 마찬가지로 라켓의 진동을 측정하고, 이 정보를 블루투스를 이용하여 스마트폰으로 전송, 스마트폰에서 공의 속도나 스핀, 타격점 등을 분석하는 시스템을 가지고 있다. 이 제품이 앞서 언급한 Play와 다른 점은 Play는 라켓의 손잡이 전체가 디바이스인 반면에 이 디바이스는 Butt cap의 형태이기 때문에 본인이 평소에 사용하는 라켓에 탈부착할 수 있다는 차별점이 있다. [5]

앞서 언급한 디바이스들은 진동 센서나 가속도 센서를 이용했다는 공통점이 있다. 즉, 이러한 데이터를 얻기 위해서는 특수한 디바이스를 구매하여야 한다. Babolat Play의 경우 (2015년 기준의 라켓으로) \$349 [6], Head Tennis Sensor의 경우 €94.90 (약 \$105) [7] 정도의 가격이므로 테니스를 즐기는 젊은 세대들에게 충분히 부담스러울 수 있는 가격이다.

대부분의 사용자가 가지고 있는 디바이스의 한계 내에서 테니스와 관련한 데이터를 추출할 수 있는 시스템이 필요하다. 고로, Tennis Audio Analytics (TAA)라는 새로운 분석 시스템을 제안한다. TAA는 마이크를 이용하여 테니스 공을 쳤을 때의 소리를 분석하고, 공의 속도를 측정하는 시스템이다.

2. Experimental Setting

본고의 실험을 위하여 피실험자에게 촬영 및 분석에 대한 동의를 사전에 받았다. 본고의 피실험자는 서울시립대학교 테니스동아리에서 활

동하고 있는 만 26세의 남성으로 키 176.2cm, 몸무게 72kg, 테니스 구력은 7년차이다.

이 실험에서 사용한 테니스 라켓은 Yonex 사의 2017년형 VCORE PRO 97 310g G4 모델이고 실제로 측정된 라켓의 무게는 309.5g이다. 라켓에 매어진 스트링은 Dunlop 사의 Explosive Speed 라는 제품으로 두께는 17게이지 (약 1.25mm) 이고 수리 당시의 장력 (tension)은 Main 56lbs, Cross 56lbs이다. 하지만, 스트링 수리 작업은 11월 22일 오후에 하였기 때문에 스트링의 장력에 대한 정확한 값을 보장하기 어렵다.

실험은 Figure 1와 같은 환경에서 진행되었다. 2021년 12월 08일 16시부터 17시까지 서울시립대학교 실외테니스장 B코트에서 약 1시간 정도 실험이 진행되었다. 동영상을 촬영함에 있어 높은 곳에서 촬영하면 좋았겠지만 장비가 없었기 때문에, 공의 속도를 원활하게 측



Figure 1. 실험 영상의 예시. 피실험자는 다음과 같은 환경에서 테니스 서브를 쳤다.

정하기 위해서 부득이하게 백핸드 위치에서만 서브를 진행하였다. 서브는 자유롭게 진행하고 추후에 동영상을 분석할 때, 좋은 자세의 서브, 잡음이 없는 상황 등 분석에 용이한 부분만 추출하여 데이터를 만들었다. 동영상은 스마트폰 삼성 갤럭시 노트9로 촬영하였다. 동영상은 30fps으로 촬영되었다.

동영상 원본에서 필요한 부분을 '토스 - 트로피자세 - 스윙 - 팔로우 스루' 까지로 잘라서 클립 단위로 만들었다. 각각의 영상은 3초 전후의 서브 영상이 되었으며, 동영상의 최종적으로 총 25개의 영상을 얻을 수 있었다. 13개는 잘 친 서브이고, 12개는 실패한 서브이다. 실패한 서브의 종류에는 네트에 맞는 net, 서비스 박스를 이탈하는 out이 있다.

3. Analysis

3.1 Ground truth of Velocity

제안한 TAA 시스템은 서브의 소리를 통하여 속도를 측정하는 시스템이기 때문에 먼저 공의 속도의 Ground truth를 정의할 필요가 있다.

동영상은 연속된 사진이기 때문에 공이 라켓과 닿았을 때의 프레임과 공이 땅바닥에 닿았을 때의 프레임의 차를 이용하면 공의 속도를 계산할 수 있다. 공이 라켓과 닿았을 때의 프레임을 S , 공이 땅바닥에 닿았을 때의 프레임을 E 라고 하자. 동영상의 frame rate를 R 이라고 할 때, 공이 비행한 거리 l , 공의 속력 V_{true} 에 대하여 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$V_{\text{true}} = \frac{(l \times 3600)}{(E - S) \div R} \div 1000 \quad (\text{km/h})$$

여기서 공이 비행한 거리 l 은 다음과 같이 근사하였다.

테니스 코트는 Figure 2와 같은 정식 규격을 가지고 있다. 테니스 서브는, 실험이 백핸드 위

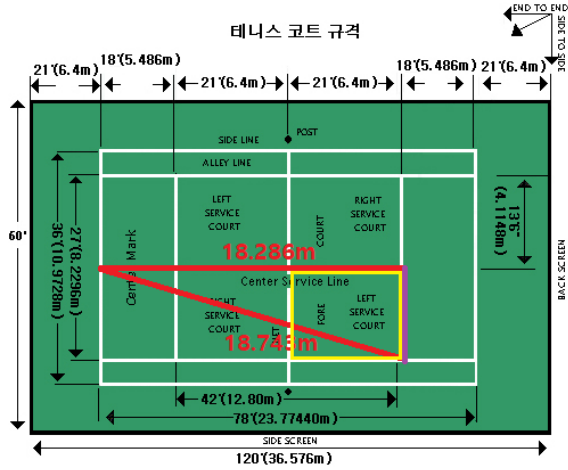


Figure 2. Tennis court dimension

치에서 진행되었기 때문에, 노란색 상자로 표시된 부분 (left service court)에 넣어야 한다. 정확한 공의 낙하지점을 측정하기 어렵기 때문에 계산의 편의상 보라색으로 표시된 부분에 공이 낙하였다고 가정하였다. 즉, 공이 비행한 거리 l 은,

$$l = \{x \mid 18.286 \leq x \leq \sqrt{18.286^2 + 4.1148^2}\} \\ = \{x \mid 18.286 \leq x \leq 18.743\}$$

으로 표현할 수 있다.

그러므로 공의 속력은 범위로 표현될 수 있다. 예를 들어, 실험 영상 good13의 경우의 공의 속도를 계산하면 다음과 같다. 공의 속력 V_{true} 의 최소값을 V_{min} , 최대값을 V_{max} 라고 할 때,

$$V_{\text{min}} = \frac{18.743 \times 3600}{(83 - 69) \div 30} \div 1000 \\ \approx 144.58 \text{ km/h} \\ V_{\text{max}} = \frac{18.286 \times 3600}{(83 - 69) \div 30} \div 1000 \\ \approx 141.06 \text{ km/h}$$

고로, 공의 속력은 141.06 km/h에서 144.58 km/h 사이라고 근사할 수 있다. 이 때, 공의 속력 V_{true} 의 범위가 충분히 작기 때문에 본고에서 공의 속력 V 를 V_{min} 과 V_{max} 의 평균으로 설정하기로 하였다.

$$V = \frac{1}{2}(V_{\text{min}} + V_{\text{max}})$$

즉, Ground truth로서, 공의 속도 V 를 구하였다.

3.2 Timbre

테니스를 치는 사람이라면, 직감적으로 서브를 칠 때의 소리를 통해서 공의 속도를 가늠할 수 있다. 하지만, 그러한 직감은 소리의 크기에서 기인했는지, 음색에서 기인했는지 명확히 알 수 없다. 그러나, 경험적으로, 서브가 잘 맞았을 때의 소리는 맑고 청아하며, 서브가 제대로 맞지 않았을 때의 소리는 발을 땅바닥에 고는 것과 같은 '칙-'소리 (공이 flat하게 맞지 않은 상황) 또는 둔탁한 소리 (공이 sweet spot에 맞지 않은 상황)가 난다. 그러므로 음색과 공의 속도가 영향이 있다고 가정하고 분석을 진행하였다.

음색을 분석하는 도구 중의 AudioCommons Timbral Models 라이브러리를 이용하였다. AudioCommons는 영국의 University of Surrey에서 수행된 프로젝트이다. 주어진 오디오 데이터에 대하여 Timbral Models을 이용하면 총 8개의 음색 특징이 나오는데, 음색 특징에는 hardness, depth, brightness, roughness, warmth, sharpness, booming, and reverberation가 있다. [8] 테니스 서브는 야외공간에서 진행되고 또한 소리 길이가 아주 짧기 때문에 reverberation (잔향)이 없다고 판단되어 측정지표에서 제외하였다.

본고에서 25개의 서브 동영상의 소리를 AudioCommons Timbral Models 라이브러리를 이용하여 음색을 분석하였다. 또한, 각각의 음색 특징을 공의 속력 V 와의 상관계수로 평가하였다. 본 실험에서 사용한 상관계수 함수는 Excel의 CORREL 함수이다. 비교할 2쌍의 데이터를 각각 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 라 할 때, CORREL 함수는 다음과 같이 연산된다.

$$\text{CORREL}(X, Y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

이 결과는 Table 1에 보였다.

	CORREL
hardness	0.281
depth	-0.289
brightness	0.084
roughness	0.192
warmth	-0.220
sharpness	-0.003
boominess	-0.357

Table 1. 공의 속도와 각 음색 속성 간의 CORREL value. 진하게 표시된 것이 양의 상관관계가 있는 것이다.

Table 1에 의하면, hardness, brightness, sharpness가 약한 상관관계를 띄는 것으로 보인다. 그러므로, hardness를 h , brightness를 b , roughness를 r 라고 할 때, 새로운 지표를 표현하는 함수 $T(h, b, r)$ 를 아래와 같이 정의하였다.

$$T(h, b, s) = 0.281h + 0.084b + 0.192r$$

고로 위 T값을 계산하고 T-Speed 함수를 그리면 Figure 3과 같은 그래프를 얻을 수 있다. Figure 3에서 엑셀에서 제공하는 추세선을 그리면 추세선 $f(x) = 4.3237x - 44.387$ 이라 할 수 있다.

3.3 Summarize

그래서 요약하면 주어진 동영상의 소리 (테니스 서브의 소리)를 AudioCommons Timbral Models 을 이용하여 hardness, brightness, roughness값을 얻고 $f(T(h, b, r))$ 를 계산하면 공의 속도를 예측할 수 있다.

실험에 사용된 데이터 25개에 대하여 참값과 관측값을 사용할 때 빈번하게 사용되는 평가지표인 RMSE(Root Mean Squared Error)를

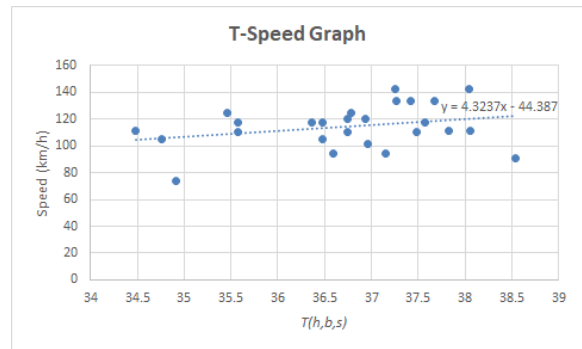


Figure 3. T-Speed graph

계산해보면 15.056091이다. 즉, 주어진 소리에 대하여 15 km/h 정도의 오차 범위 내에서 서브 속도를 예측할 수 있음을 알 수 있다.

4. Conclusion

본 논문에서 테니스 서브의 소리를 이용하여 공의 속도를 예측하는 방법을 제안하였다. 실험 데이터로 총 25개의 테니스 서브 동영상이 있다. 소리를 분석하는 도구로 소리 데이터의 음색을 분석하는 AudioCommons Timbral Models 라이브러리를 사용하였으며, 상관계수를 이용하여 음색의 특성을 구분하고, 선형 근사를 이용하여 공의 속도를 예측하는 함수를 제안하였다. 제안된 방법은 약 15 km/h 정도의 오차 범위 내에서 공의 속도를 예측할 수 있다.

실험에 사용된 서브 속도가 최소 74.05 km/h에서 최대 142.82 km/h 의 범위를 가지고 있으므로 15 km/h 은 상당히 큰 오차 범위라고 할 수 있다. 고로 추후에는 오차 범위를 줄이는 알고리즘을 연구할 필요가 있다.

Reference

- [1] 오수정, "골린이 가고 테린이 왔다, 2030 MZ세대 떠오르는 취미 스포츠 '테니스'," 24 10 2021. [온라인]. Available: <http://www.ftimes.kr/news/articleView.html?idxno=13828>. [엑세스: 15 12 2021].
- [2] 오경진, "[이건 못 참지]"심장이 쿵쿵쿵쿵"...MZ세대가 테니스 라켓을 든 이유는," 16 10 2021. [온라인]. Available: https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20211016500029&wlog_tag3=naver. [엑세스: 15 12 2021].
- [3] 방극용, "첨단 라켓 '바볼랏 플레이' 손에 넣다," 04 01 2015. [온라인]. Available: <http://www.tennispeople.kr/news/articleView.html?idxno=3676>. [엑세스: 15 12 2021].
- [4] L. Dormehl, "The Babolat Pop tennis tracker wants to improve your game," 2 3 2018. [온라인]. Available: <https://www.digitaltrends.com/outdoors/babolat-pop-tennis-tracker/>. [엑세스: 15 12 2021].
- [5] R. Stella, "Head teams with controversial sport sensor brand Zepp on new tennis tracker," 27 2 2018. [온라인]. Available: <https://www.digitaltrends.com/outdoors/head-tennis-sensor-zepp/>. [엑세스: 15 12 2021].
- [6] J. Garzon, "Babolat Play Pure Drive review,," 3 3 2015. [온라인]. Available: <https://www.cnet.com/reviews/babolat-play-pure-drive-review/>. [엑세스: 15 12 2021].
- [7] Mistertennis.com, "HEAD ZEPP TENNIS SENSOR," [온라인]. Available: <https://www.mistertennis.com/en/head-zepp-tennis-sensor-285807.html#>. [엑세스: 15 12 2021].
- [8] AudioCommons, "Deliverable D5.2," Surrey, 2017.