

다양한 감정 상태에서의 보행 특징 분석

Analysis of Gait Characteristics of Walking in Various Emotion Status

당 반 치엔* · 트란 트링 틴* · 김종욱*

Dang Van Chien, Tran Trung Tin, and Jong-Wook Kim[†]

*동아대학교 전자공학과

[†] Dept. of Electronic Engineering, Dong-A University

요 약

인간은 다양한 감정을 가지고 있으며 매 시점의 감정 상태에 따라 사고와 판단, 행동이 영향을 받는다. 특히 어떤 사람의 보행하는 모습만 보아도 그 사람의 감정 상태를 짐작할 수 있을 정도로 보행 또한 감정에 영향을 받는다. 현재 휴머노이드 로봇의 이족보행에 관한 연구는 지면의 상태와 상관없이 안정하게 걷는 것을 주로 다루지만 인간과의 교감을 위해서는 감정 상태에 따라 보행하는 패턴이 달라질 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 보행분석 시스템을 이용해서 네 가지 대표적인 감정(기쁨, 슬픔, 화남, 편안함) 상태에 있는 성인남녀의 보행 데이터를 취득 및 분석하고 상호 특성을 비교하는 연구를 수행했다. 본 논문에서 소개된 정서적 보행 분석 내용은 휴머노이드 로봇의 정서적 보행에 참고 자료로 사용될 예정이다.

키워드 : 정서, 이족보행, 휴머노이드 로봇, 보행분석

Abstract

Human has various types of emotions which affect speculation, judgement, activity, and the like at the moment. Specifically, walking is also affected by emotions, because one's emotion status can be easily inferred by his or her walking style. The present research on biped walking with humanoid robots is mainly focused on stable walking irrespective of ground condition. For effective human-robot interaction, however, walking pattern needs to be changed depending on the emotion status of the robot. This paper provides analysis and comparison of gait experiment data for the men and women in four representative emotion states, i.e., joy, sorrow, ease, and anger, which was acquired by a gait analysis system. The data and analysis results provided in this paper will be referenced to emotional biped walking of a humanoid robot.

Key Words : Emotion, Biped Walking, Humanoid Robot, Gait Analysis.

1. 서 론

휴머노이드 로봇은 인간을 대신해서 힘든 일을 하거나, 인간의 선생님, 동료, 또는 도우미로서 다양한 역할을 효과적으로 수행할 수 있는 로봇 플랫폼이다. 지금까지 휴머노

이드 로봇은 공학적인 관점에서 액추에이터/센서 등의 기계 부품 기술, 기구적인 설계 및 제작기술, 각종 신호처리 기술, 이족보행과 모션 등의 동적 운용 및 제어 등의 분야에서 주로 연구되어 왔다[1].

현재 휴머노이드 로봇 기술의 발전은 콘텐츠 제작 기술에 힘입어 그 영역을 대중적인 춤으로부터 공연무대로까지 확장해 가고 있다. 세계 최초로 2008년 일본에서 자율적으로 움직이는 로봇(Mitsubishi 중공업의 Wakamaru)을 이용한 연극 시범공연이 이뤄졌고, 국내에서는 성인 여성을 로봇으로 구현한 에버(EveR)2가 2009년에 '에버가 기가 막혀', '엄마와 함께 하는 국악보따리'에 출연했으며, 에버3는 2009년에 '로봇공주와 일곱 난장이'라는 연극에 출연하여 상업적인 수익을 올리기까지 했다[2].

인간은 지능과 함께 다양한 감정(emotion)을 생성하며 매 시점의 감정 상태에 따라 사고와 판단, 행동이 영향을 받는다. 그러므로 인간이 외부로 표현하는 목소리나 억양[3], 얼굴 표정[4], 제스처나 행동[5], 생체신호, 피부온도 등을 분석하면 현재의 감정 상태를 판단할 수 있다. 인간의 행동 중 특히 보행하는 모습은 감정에 따라 크게 달라지기 때문에 어떤 사람의 보행하는 모습만 보아도 그 사람의 감정 상태를

접수일자: 2014년 3월 9일

심사(수정)일자: 2014년 4월 1일

게재확정일자: 2014년 7월 21일

[†] Corresponding author

본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2013R1A1A2064135)을 받고, 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No. 20134010200550)의 결과물임.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

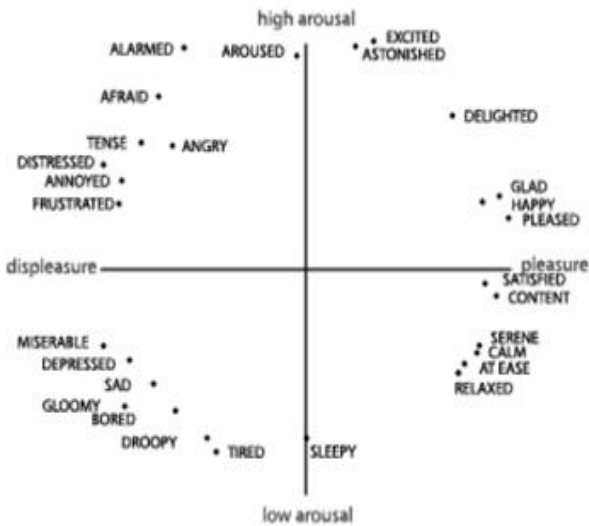


그림 1. Russel의 2차원 감정 공간
Fig. 1. Russel's 2D Emotion space

짐작할 수 있다. Montepare 등은 이러한 사실에 기반하여 피 실험자가 네 가지 감정 상태(슬픔, 화남, 행복, 자신감)에서 보행하는 장면을 찍은 비디오 테이프를 관찰자가 평가함으로써 보행을 통한 감정 인식이 가능함을 보고했다[6].

또한 Kirtley 등은 Vicon을 사용하여 의기소침할 때와 행복할 때의 인간의 보행패턴을 계측하고 검사했다[7]. 그 결과 의기소침 상태에서는 보행 시 케이던스(cadence, 분당 스텝 수) 및 보폭, 보행속도가 감소했고 양측지지(double support phase) 시간이 증가한 반면, 행복한 상태에서는 케이던스, 보행속도, 보폭이 표준치보다 증가하였으며 양측지지 시간이 감소하는 특징을 보였다. 이처럼 인간의 보행특징은 성격, 감정 및 심리 상태에 따라 다른 특징을 보이는 것을 알 수 있다.

현재 휴머노이드 로봇의 이족보행 관련 연구는 지면의 상태(요철, 기울기)와 상관없이 안정하게 걷는 기술에 대부분 초점이 맞춰져 있지만 인간과의 원활한 상호 교감과 연극 공연 구현과 같은 엔터테인먼트 서비스를 위해서는 감정 상태에 따라 보행하는 패턴이 달라져야 한다. 이를 위해 Lim 등은 WABIAN-RII 휴머노이드 로봇에 대해 보폭, 발·허리·상체의 궤적, 머리·상체·팔의 각도 등의 보행 파라미터들을 경험적으로 결정하여 세 가지 감정(행복, 슬픔, 화남)을 성공적으로 구현했다[8]. 그러나 수십 개에 달하는 보행 파라미터들을 정하기가 어렵고, 보다 복잡하고 다양한 감정에 대해서 체계적으로 구현하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 보행분석 시스템을 이용해서 감정 공간상의 네 가지 대표적인 감정(기쁨, 슬픔, 화남, 편안함) 상태에 있는 20대 성인남녀의 보행 특징 데이터를 취득 및 분석하고 상호 비교하는 연구를 수행한 결과를 소개한다. 본 논문의 데이터와 분석 결과는 휴머노이드 로봇의 정서적 이족보행 구현에 기초 자료로 사용될 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 2차원 감정 모델을 설명하고, 3장에서는 보행분석 시스템과 보행 실험 방법을 설명한 후 측정된 감정별 보행 파라미터들을 비교 분석한다. 4장에서는 본 연구를 통해 얻은 내용을 정리하고 향후 연구 방향에 대해 논한다.

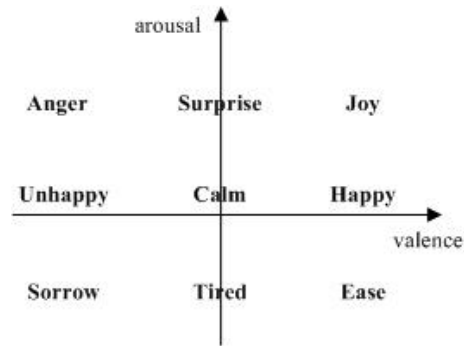


그림 2. GOMY의 2차원 감정 공간
Fig. 2. 2D emotion space for GOMY



그림 3. 보행분석 실험을 위해 반사체를 접착한 모습
Fig. 3. Attachment of detectors for gait analysis experiments

2. 감정 모델

인간의 보행은 그 순간의 감정을 반영하므로 감정 또는 정서에 대한 학문적 이해가 필요하다. Russel은 두 개의 독립적인 매개 변수인 arousal(각성의 정도)과 pleasure(쾌감 정도)로 감정공간 상에 28 종류의 다양한 감정을 맵핑했다[9]. 이 감정공간 모델의 가장 큰 특징은 다양한 감정을 나타낼 수 있는 점이다.

KAIST에서는 Russel의 감정공간을 간략화하여 그림 2와 같이 9가지 감정을 두 개의 독립적인 매개 변수인 arousal과 valence로 2차원 감정 공간에서 표현했고, 이를 활용하여 인간과 상호작용이 가능한 로봇인 GOMY를 개발했다[10]. 본 논문에서는 그림 2의 각 사분면 코너에 있는 대표적인 네 가지 감정(anger, joy, sorrow, ease) 상태에 있는 피험자로 보행 실험을 실시하고 보행분석 시스템을 이용해서 보행 특성을 상호 비교하고자 한다.

3. 보행 실험 및 분석

본 연구에서는 한국신발피혁연구원의 보행분석 시스템을 이용했다. 이 시스템에는 8대의 카메라가 있으며 카메라는 Falcon HiRES 240이고 모션 캡처 샘플링 비는 60Hz이다.

표 1. 네 가지 감정 상태에서 보행 시 보행 특징 데이터 비교표
(괄호안의 숫자는 각 피험자의 평상시 보행 데이터에 대한 상대적 증감률).

Table 1. Comparison of gait characteristic data for walking in the four emotion status. Numbers in parentheses are relative ratio of increase or decrease from the walking data under normal status for each subject.

subject	emotion status	cadence (steps per min.)			step length (m)			walk speed (m/s)		
		min.	max.	avg.	min.	max.	avg.	min.	max.	avg.
man 1	normal	91.37	94.71	93.04	0.65	0.69	0.67	0.97	1.06	1.02
	ease	68.98	75.49	72.24 (-22.4)	0.45	0.53	0.49 (-26.9)	0.51	0.65	0.58 (-42.9)
	joy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	anger	102.98	111.05	107.02 (15.0)	0.64	0.71	0.68 (0.7)	1.12	1.24	1.18 (16.3)
	sorrow	74.68	85.11	79.90 (-14.1)	0.49	0.56	0.53 (-21.6)	0.62	0.76	0.69 (-32.0)
man 2	normal	95.65	99.58	97.62	0.73	0.81	0.77	1.17	1.31	1.24
	ease	72.73	79.72	76.23 (-21.9)	0.58	0.64	0.61 (-20.8)	0.69	0.85	0.77 (-37.9)
	joy	96.30	110.25	103.28 (5.8)	0.71	0.85	0.78 (1.3)	1.20	1.46	1.33 (7.3)
	anger	101.91	105.64	103.78 (6.3)	0.94	0.97	0.96 (24.0)	1.59	1.67	1.63 (31.5)
	sorrow	-	-	-	-	-	-	-	-	-
woman 1	normal	86.28	90.69	88.49	0.54	0.58	0.56	0.79	0.85	0.82
	ease	46.51	54.60	50.56 (-42.9)	0.43	0.50	0.47 (-17.0)	0.35	0.43	0.39 (-52.4)
	joy	97.46	106.77	102.12 (15.4)	0.57	0.64	0.61 (8.0)	0.95	1.10	1.03 (25.0)
	anger	105.34	110.22	107.78 (21.8)	0.60	0.65	0.63 (11.6)	1.05	1.17	1.11 (35.4)
	sorrow	57.20	62.81	60.01 (-32.2)	0.41	0.44	0.43 (-24.1)	0.40	0.46	0.43 (-47.6)
woman 2	normal	81.65	90.27	85.96	0.45	0.51	0.48	0.63	0.75	0.69
	ease	52.10	62.77	57.44 (-33.2)	0.34	0.42	0.38 (-20.8)	0.30	0.41	0.36 (-48.6)
	joy	101.06	114.41	107.74 (25.3)	0.49	0.60	0.55 (13.5)	0.90	1.05	0.98 (41.3)
	anger	99.73	110.31	105.02 (22.2)	0.51	0.56	0.54 (11.5)	0.89	0.98	0.94 (35.5)
	sorrow	69.46	75.79	72.63 (-15.5)	0.41	0.47	0.44 (-8.3)	0.48	0.57	0.53 (-23.9)

3D 마커 데이터 관리 서버는 MIDAS를 사용하며 분석 소프트웨어는 EvaRT 4.2이다. 그림 3은 실험을 위해 피험자의 하체에 총 16개의 반사체(detector)를 부착한 모습을 보이며, 이 반사체의 위치를 카메라가 인식하여 각 관절의 3차원 궤적과 보행 파라미터를 계산한다.

보행 실험에는 대학생 남학생 2명과 여학생 2명이 참여했으며, 정상(normal) 상태의 보행을 포함해 총 5가지 감정 상태의 보행을 5번씩 반복하며 실험을 수행했다. 정확한 정서적 보행을 구현하기 위해 Montepare 등이 사용한 방법 [6]처럼 피험자는 해당 감정이 들게 하는 상황을 마음속으로 상상하며 몰입하는 과정을 보행 전에 거쳤다. 예를 들어, 기쁜 상태는 학점이 A+를 받는 순간을 상상하게 했으며, 슬픈 상태는 병원에 입원해 있는 친구나 가족을 면회 갈 때

의 상황을 상상하게 했다.

표 1은 보행분석 시스템으로 측정된 감정 별 보행 특성을 분당 스텝수, 보폭, 보행 속도의 측면에서 최대값과 최소값을 비교 분석한 것이다. 각 감정상태 당 5~7 스텝을 밟으면서 전진하는 것을 5회 반복했으므로 시스템이 분석한 스텝은 총 30회 전후가 된다. 표에서 데이터가 없는 경우는 man 1의 '기쁨' 상태와 man 2의 '슬픔' 상태로서 측정 데이터의 불균일성으로 인해 보행 분석 소프트웨어에서 데이터를 추출하지 못한 경우에 해당된다.

표 2는 표 1을 이용해서 피험자의 감정 상태에 따라 케이던스와 보폭, 보행속도 면에서 평상시 보행에 비해 어느 정도 비율로 차이가 나는지를 정리하고, 이에 대한 평균값을 계산한 결과를 보인다. 비록 몇 개의 데이터가 측정되지

표 2. 네 가지 감정 상태의 보행 특징 비율 평균값 비교
Table 2. Comparison of gait characteristic data for walking in the four emotion status.

	cadence (steps per min.)				step length (m)				walk speed (m/s)			
	ease	joy	angr.	sorr.	ease	joy	angr.	sorr.	ease	joy	angr.	sorr.
man 1	-22.4	-	15.0	-14.1	-26.9	-	0.7	-21.6	-42.9	-	16.3	-32.0
man 2	-21.9	5.8	6.3	-	-20.8	1.3	24.0	-	-37.9	7.3	31.5	-
avg.	-22.2	5.8	10.7	-14.1	-23.8	1.3	12.3	-21.6	-40.4	7.3	23.9	-32.0
woman 1	-42.9	15.4	21.8	-32.2	-17.0	8.0	11.6	-24.1	-52.4	25.0	35.4	-47.6
woman 2	-33.2	25.3	22.2	-15.5	-20.8	13.5	11.5	-8.3	-48.6	41.3	35.5	-23.9
avg.	-38.1	20.3	22.0	-23.9	-18.9	10.7	11.5	-16.2	-50.5	33.2	35.5	-35.8
net avg.	-30.1	13.1	16.3	-19.0	-21.4	6.0	11.9	-18.9	-45.5	20.2	29.7	-33.9

못했지만 피험자의 평균 데이터들에는 다음과 같은 특징이 있다.

$$\begin{aligned}
 c(\text{angry}) &> c(\text{joy}) > c(\text{sorrow}) > c(\text{ease}) \\
 s(\text{angry}) &> s(\text{joy}) > s(\text{sorrow}) > s(\text{ease}) \\
 w(\text{angry}) &> w(\text{joy}) > w(\text{sorrow}) > w(\text{ease})
 \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 c는 케이던스를, s는 보폭을, w는 보행속도를 의미한다.

이 결과로 얻게 되는 흥미로운 사실은 평균적으로 즐거울 때보다 화가 났을 때 모든 보행 파라미터들이 최대값을 보이고, 슬플 때보다 편안할 때 모든 보행 파라미터들이 최소값을 가진다는 점이다. 이는 보행 파라미터들이 사람들이 가장 즐거울 때 최대이고 가장 우울할 때 최소일 것이라는 일반적인 생각과는 다소 거리가 있는 결과이며, 그림 2의 2차원 감정 공간에서 서로 대각선 상에 있는 감정 시 보행 특징이 가장 큰 차이가 있음을 의미한다.

표 2의 데이터로부터 성별에 의한 차이를 보면 케이던스는 모든 항목에서 여성의 경우 남성보다 보행 파라미터의 절대값이 약 두 배 정도 크게 나타났다. 이는 여성의 경우 감정 상태에 따라 발걸음이 빨라지거나 느려지는 것이 남성보다 현격하게 차이가 남을 의미한다. 반면에 보폭은 데이터가 부족한 '기쁨' 상태를 제외하고는 증가폭이나 감소폭이 여성보다 남성이 조금 더 컸다. 즉, 남성은 기분이 좋아지거나 슬퍼지면 발걸음의 속도 차이는 크지 않지만 보폭의 차이가 여성보다 다소 커짐을 알 수 있다. 다른 말로 하면 여성의 감정 상태를 알기 위해서는 발걸음이 빨라지는지 느려지는지를 관찰하고, 남성의 경우에는 보폭이 증가하는지 감소하는지를 관찰하는 것이 보다 정확할 수 있음을 의미한다.

표 2의 세 번째 항목인 보행속도는 첫 번째와 두 번째 항목인 케이던스와 보폭을 곱한 값에 비례하므로 케이던스 변화율이 훨씬 더 컸던 여성의 경우가 남성에 비해 전체적으로 변화폭이 더 큼을 보인다.

결론적으로 말하면 인간은 화가 났을 때 발걸음이 가장 빠르고 보폭도 가장 컸으며, 그 다음으로 즐거울 때 발걸음 수와 보폭이 증가했다. 반면에 슬플 때 발걸음도 감소하고 보폭이 감소했으며, 편안할 때 그 감소 폭이 가장 컸다. 이러한 변화 정도는 남성보다 여성의 경우가 더 커서, 여성이 남성보다 더 감성적인 사실을 뒷받침한다.

표 2에서 제시된 보행 파라미터 비율 변화는 이족보행 시 보폭과 보행속도를 실시간으로 조절할 수 있는 기술[11]에

적용하면 휴머노이드 로봇의 감정을 표현하는 것이 가능할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 상체의 보행 관련 데이터를 측정하지는 않았지만, 슬픈 감정 상태에서의 보행을 표현할 때 로봇의 상체와 고개를 숙이면 편안한 상태와의 차이를 확실히 표현할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 보행분석 시스템을 이용하여 20대 성인 남녀 각 두 명이 네 가지 감정 상태(화남, 기쁨, 슬픔, 편안함)에서 보행할 때의 보행특성(분당 스텝수, 보행 속도, 보폭)을 비교 분석한 결과를 소개한다. 분석 결과에 의하면 인간은 화가 났을 때 분당 스텝수, 보행속도, 보폭이 최대가 되며 그 다음이 기쁨 때이다. 반면에 슬플 때 보행 파라미터들이 평상 시에 비해 감소했으며 편안할 때 가장 많이 감소했다. 또한 동일한 감정 상태일 때 여성은 남성에 비해 분당 보폭수의 변화율이 더 컸으며, 남성은 여성에 비해 보폭의 변화율이 더 큰 특징이 있었다. 비록 피실험자 숫자가 네 명으로서 작은 편이었지만 상기 결과는 평소 관찰하는 경험과도 부합된다고 할 수 있다. 본 논문의 결과를 바탕으로 향후 휴머노이드 로봇의 정서적 보행 시 보행 속도와 보폭 조절을 효과적으로 수행할 예정이다.

References

- [1] J. W. Kim, *How to Manage Humanoid Robot by Yourself BIOLOID*, HongRung Publishing Company, 2012.
- [2] D.-W. Lee, H.-G. Lee, H.-S. Kim, and H. Park, "Human-robot interaction for a humanoid robot in a play," *Proceedings of KIIS Fall Conference*, vol. 19, no. 2, pp. 101-103, 2009.
- [3] G. Lee and W.-G. Kim, "Robust speech parameters for the emotional speech recognition," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 6, pp. 681-686, Dec. 2012.
- [4] K.-E. Ko and K.-B. Sim, "Development of facial emotion recognition system based on optimization of HMM structure by using harmony search algo-

rithm,” *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 395-400, June 2011.

[5] S.-J. Kim, W.-K. Choi, Y.-M. Kim, and H.-T. Jeon, “Learning for environment and behavior pattern using recurrent modular neural network based on estimated emotion,” *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 9-14, Jan. 2004.

[6] J.-M. Montepare, S. B. Goldstein, and A. Clausen, “The identification of emotions from gait information,” *Journal of Nonverbal Behavior*, vol. 11, no. 1, pp. 33-42, Spring, 1987.

[7] Ch. Kirtley, M. W. Whittle, and R. J. Jefferson, “Influence of walking speed on gait parameters,” *Journal of Biomedical Engineering*, vol. 4, pp. 282-288, 1985.

[8] H.-O. Lim, A. Ishii, and A. Takanishi, “Emotion-based biped walking,” *Robotica*, vol. 22, no. 5, pp. 577-586, 2004.

[9] J. A. Russell, “A circumplex model of affect,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, no. 6, pp. 1161-1178, 1980.

[10] S.-Y. Koo and D.-S. Kwon, “Gomy: the baby bear-like robot for emotional human-robot interaction,” *Proceedings of the Fourth International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, pp.603-608, Pohang, Korea, Nov. 2007.

[11] J.-W. Kim, “Online joint trajectory generation of human-like biped walking,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 11, no. 19, pp. 1-12, Feb., 2014.



트란트렁틴(Tran Trung Tin)

2010년 : Duy Tan University, IT통신학과 (공학사)

2013년~현재 : 동아대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : 로봇틱스, 센서 디바이스
Phone : +82-51-200-5579
E-mail : trantrungtin.vhit@gmail.com



김종욱(Jong-Wook Kim)

2004년 : 포항공대 전자전기공학과(공학박사)

2006년~현재 : 동아대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 휴머노이드 로봇, 최적화 알고리즘, 지능제어
Phone : +82-51-200-7714
E-mail : kjwook@dau.ac.kr

저 자 소 개



당반치옌(Dang Van Chien)

2010년 : Hanoi University of Science and Technology, 자동제어공학과 (공학사)

2014년~현재 : 동아대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : 휴머노이드 로봇, 지능 제어
Phone : +82-51-200-5579
E-mail : dvchienbkvn@gmail.com