

책 읽어주기에서 아동의 머리 흔들림을 가시화하는 시스템

— 집중력의 유지와 머리 흔들림 —

大場 昂人*1·박태원*1·熊澤典良*1·島義弘*2·奈良大作*1·上谷俊平*1

Email: kumazawa@mech.kagoshima-u.ac.jp

*1: 가고시마대학 대학원 이공학연구과

*2: 가고시마대학 교육학부

◎Key Words

머리 흔들림, 집중력, AR 마커

1. 서론

유아교육에서 원아의 성장에 맞춘 보육을 하기 위해서는 원아 개개인의 특성을 파악하는 것이 필요하며, 그 특성의 하나로서 집중력을 기르는 것은 중요하다. 일반적으로 운동에 의해 집중력이 높아진다는 것이 알려져 있으며(1), 많은 현장에서는 운동 놀이를 도입하여 그 후의 아침 모임이나 책 읽어주기와 같은 일제 보육으로 들어가기 쉽도록 하고 있다.

책 읽어주기 시에 집중력이 저하되어 그 유지가 어려워지면, 아동은 주위를 둘러보거나 안절부절못하며 움직이기 시작하는 경우가 많다. 책 읽어주기 시에 이야기의 내용에 집중하고 있는 아동은 가만히 화자 쪽으로 얼굴을 향하고, 집중하지 못하는 아동은 몸을 흔들거리는 모습으로부터, 아동의 머리 움직임을 계측함으로써 집중 상태를 파악할 수 있을 것으로 예상하였다.

우리는 유소년기 아동의 성장 과정의 가시화를 목표로 하고 있으며, 그 특성 중에서도 집중력에 주목하고 있다. 본 연구는 원아의 집중 정도를 밝히는 것을 목적으로 하며, 일상의 보육에서 빈번하고 지속적으로 이루어지는 책 읽어주기 시의 아동이 대상이다. 본 논문에서는 화자의 책 읽어주기에 집중하는 아이들의 영상으로부터 모든 원아의 집중을 동시에 그리고 개별적으로 측정하기 위해 개발한 시스템에 대해 기술하고, 그 시스템으로부터 해석 결과로서 출력되는 집중도에 대해 고찰한다.

2. 시스템의 개요

원아의 집중을 가시화하기 위해, 본 연구의 해석은 일제 보육으로 이루어지는 책 읽어주기 시를 대상으로 한다. 그림 1은 유치원에서 실시하는 책 읽어주기의 모식도이며, 보육자가 학급 전원을 향해 그림 연극을 읽는 모습을 나타내고 있다. 그림책 속의 세계에 들어가 집중하고 있는 아동의 자세는 유지되지만, 산만해지기 쉬운 아이나 흥미를 잃어 집중하지 못하게 된 아이의 자세는 점차 흐트러진다. 집중하지 못하면 그림에 나타난 것처럼 이리저리 돌아다니거나 두리번거리며 안정감이 없어지기 때문에, 흔들리는 머리 및 신체로부터 원아의 집중도를

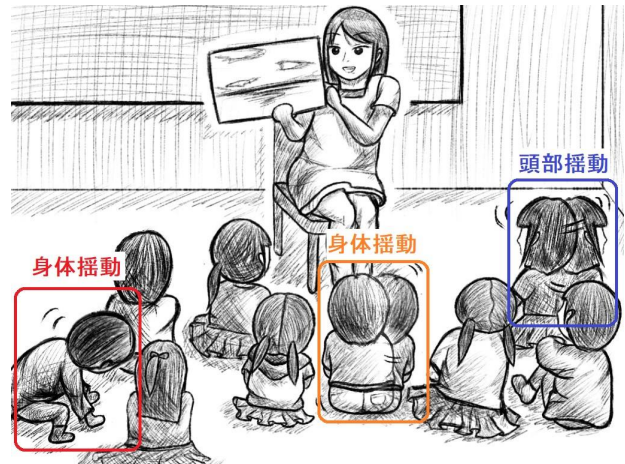


그림 1 책 읽어주기의 개략도

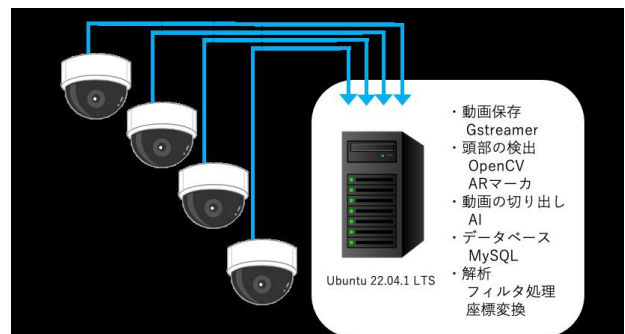


그림 2 시스템의 개략도

파악할 수 있을 것이다.

책 읽어주기에서 원아의 집중 상태를 머리의 움직임으로부터 측정하기 위해, 교실 천장의 네 모서리에 카메라를 설치하였다. 책 읽어주기 시에 카메라로 촬영되는 영상의 해상도는 사용한 기기의 최대 해상도인 2592×1944 이다. 그림 2는 본 연구에서 개발한 시스템의 개략도이며, 카메라의 영상은 유선 네트워크를 통해 참조할 수 있다. 본 연구에서 부설한 네트워크에는 약 15대의 카메라를 포함한 PC 등의 네트워크 기기가 접속되어 있기 때문에, 모든 기기의 통신을 위한 대역을 고려하여 카메라의 프레임 레이트는 5fps로 하였다. 카메라의 영상을 저장하는 서버 기기에는 Ubuntu 22.04.1 LTS OS가 설치되어 있으며, 4대의 카메라로부터 RTSP(Real Time Streaming Protocol) 프로토콜로 전송되는 영상은 서버 내의 하드디스크에 자동으로 저장된다. 영상의 저장에는 오픈소스 멀티미디어 프레임워크인



그림 3 AR 마커를 부착한 모자

GStreamer(2)를 사용하여, 책 읽어주기가 이루어질 가능성이 높은 시간대의 동영상을 자동으로 저장하고 있다.

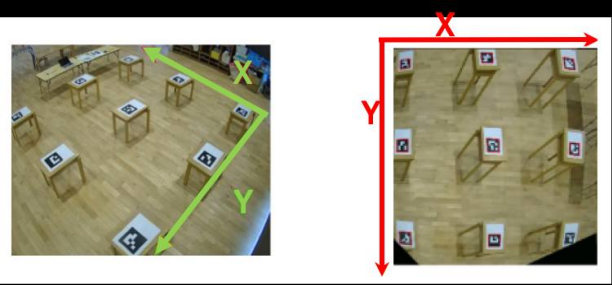
2.1 흔들리는 머리의 계측

원아의 책 읽어주기 시 집중 상태를 파악하기 위해, 카메라에 의한 동영상으로부터 원아의 머리 움직임을 측정한다. 머리의 움직임을 계측하는 방법으로서 AI를 이용하여 원아의 머리를 검출하는 것을 생각할 수 있으나, 정면 이외로부터의 아동 식별은 어렵다. 머리에 어떠한 표식을 붙일 수 있다면 간단히 머리의 위치는 계측할 수 있지만, 그 표식으로 장난을 치기 시작할 것이고, 그 표식을 벗을 가능성도 부정할 수 없다. 다양한 방법을 검토한 결과, 원아들이 보육 중에 모자에 익숙해져 있다는 것을 알게 되었기 때문에 원아 모자를 사용하기로 하였다. 그림 3은 책 읽어주기 시에 사용하는 원아용 모자이며, 3개의 AR 마커가 부착되어 있다. AR 마커를 사용함으로써 그 위치 및 각도를 계측할 수 있고, 디자인이 다른 마커를 사용함으로써 그 식별이 용이해진다. 본 연구에서는 카메라의 사각에 들어간 머리의 AR 마커가 검출되지 않는 것을 피하기 위해, 모자에 3개의 AR 마커를 부착하여 아이의 머리 위치를 항상 파악할 수 있도록 하고 있다. AR 마커의 크기는 모자의 크기를 고려하여 한 변을 80mm의 정사각형으로 하였고, 안전면에 대한 배려로 AR 마커 본체는 펠트 원단을 사용하여 제작하고, 그 내부에 플라스틱 골판지를 삽입하여 보강하였다.

카메라의 동영상으로부터 인식되는 원아별 머리의 움직임을 생각한다. 그림 4는 서로 다른 카메라가 포착한 책 읽어주기 영상의 예이다. 그림 속 원으로 둘러싸인 원아는 동일 인물이며, 그 원의 반지름은 50cm에 대응한다. 그 원아가 전후좌우로 50cm 움직였다고 하면, 그림 4 좌우 카메라의 영상에서는 그 반지름이 각각 300픽셀 및 100픽셀이 된다. 머리의 AR 마커를 인식하기 위해 OpenCV(3) 내의 Aruco 모듈을 사용하는데, 검출되는 AR 마커의 중심 좌표는 이미지의 좌측 상단을 (0,0)으로 한 픽셀 값으로 표현되기 때문에, 동일한 원아가 같은 움직임을 하더라도 카메라에 따라 계측되는 픽셀 값의 변화와 그 방향은 전혀 다르다. 이 카메라에 의해 발생하는 픽셀 값의 차이를 보정하기 위해, 좌표 변환을 이용하여 모든 이미지를 길이의 물리량 mm에 대응시킨다. 그림 5는 카메라의 이미지를 물리량에 대응시키기 위해 실시한 교정 실험 이미지의 예이다. 그림 5(a)는 카메라에 의



그림 4 카메라에 따라 달라지는 스케일



(a) 변환 전

(b) 변환 후

그림 5 교정의 예비 실험



그림 6 단상부의 사람 검출

한 원본 이미지이며, 교실 내의 책 읽어주기가 이루어지는 3m×3m 범위에 9개의 AR 마커를 1.5m 간격으로 배치하고 있다. AR 마커의 받침대는 교단에 대해 평행하게 놓여 있으며, 그 높이는 책 읽어주기 시 원아의 머리 위치와 대략 같다. 4대의 카메라에 의해 달라지는 스케일을 동일하게 하기 위해, 그림 5(a)의 받침대 위치 관계가 그림 5(b)와 같이 등간격이 되도록 모든 카메라의 이미지에 대해 좌표 변환을 실시하는 것을 고려하였다. 변환 후의 이미지는 모두 마치 교실 상부에서 촬영한 것과 같은 형상이 되며, 변환 후 이미지의 1픽셀당 물리량은 약 2mm가 되었다. 본 연구의 좌표 변환을 사용함으로써, 서로 다른 카메라의 영상으로부터 검출된 AR 마커의 변화를 동일한 변화량으로서 취득하는 것이 가능해지며, 설정 AR 마커의 검출 누락이 있더라도 다른 카메라의 영상으로부터 머리 위치의 정보를 보완할 수 있다.

2.2 머리 흔들림 속도의 산출

유치원의 오전 책 읽어주기는 10~11시 사이에 10분 정도 이루어진다. 책 읽어주기 시 원아의 머리 움직임을 해석하기 위해서는 PC에 저장한 동영상으로부터 해당하는 부분을 뽑아낼 필요가 있다. 책 읽어주기 부분의 동영상 잘라내기는 시간과 수고가 드는 작업이며, 그것이 4대 분 카메라의 영상이 되면 더욱 그러하다. 인적 작업을 줄이기 위해, AI를 이용하여 카메라 4대분의 영상으로부터 책 읽어주기 부분을 동기화시켜 잘라내기로 하였다. AI에 의한 책 읽어주기의 판정 기준은 단상에 화자가 있을 것과, 10명 이상의 원아가 있을 것이다. 그림 6은 판정 기준의 하나인 단상에 화자가 검출되고 있는 모습을 나

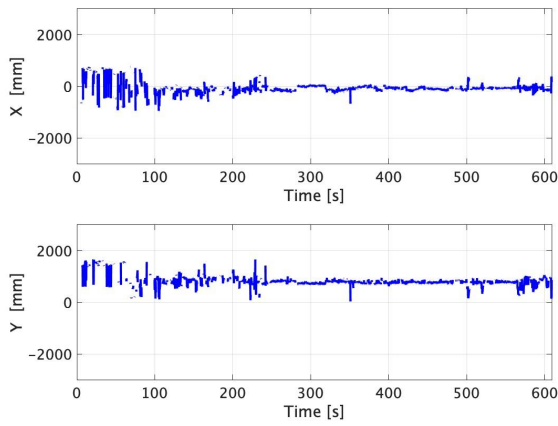


그림 7 머리의 위치

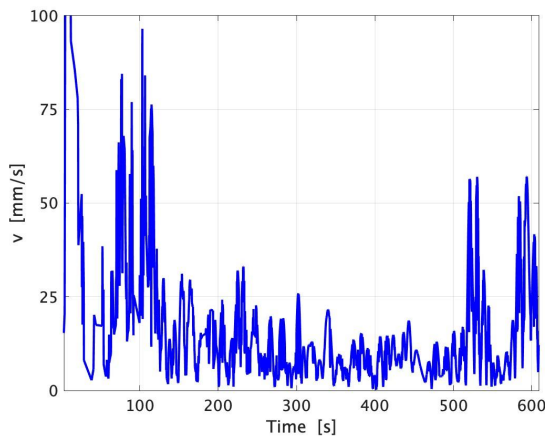


그림 8 머리의 속도

타내고 있으며, AI의 물체 인식(4)에 의해 그 판정이 이루어진다. 작성한 물체 인식 모델에서는 화자와 원아의 구별이 어려웠기 때문에, 화자의 머리 높이를 고려하였다. 또 하나의 판정 기준인 원아의 수는 검출되는 AR 마커에 의해 계산되는데, AR 마커가 달린 모자는 책 읽어주기 시 이외에는 사용되지 않기 때문에, 아이의 수에 의한 해당 부분 잘라내기의 오판정은 일어나지 않고 있다.

본 연구의 시스템은 web 브라우저로 조작할 수 있으며, 해석하고 싶은 날을 선택하고 아이를 지정하는 것으로 해석 결과가 표시된다. 그림 7 및 그림 8은 각각 흔들리는 머리의 위치 및 속도의 그래프이며, AI에 의해 잘라내어지는 책 읽어주기 부분의 영상으로부터 자동으로 해석되어 작성된다. 그림 7의 위 그림은 x축을 교단과 평행으로 했을 때의 머리의 좌우 방향 위치, 아래 그림은 머리의 전후 방향 위치를 나타내고 있다. 가로축은 시간이며, 세로축의 단위는 mm이다. 그림 8은 흔들리는 머리의 속도이며, 세로축의 단위는 mm/s이다. 그림 7의 위치는 좌표 변환 후의 데이터이며, 전처리로서 로우패스 필터를 이용하여 노이즈를 제거하고, 그림 8의 속도는 위치의 차분으로부터 구하고 있다. 본 실험에 사용하고 있는 동영상의 프레임 레이트는 5fps이기 때문에, 머리의 속도는 0.2초 사이에 AR 마커가 이동한 거리에 대응한다. 그림 9는 그림 7, 8과 동시에 화면에 표시되는 책 읽어주기 동영상이다. 4개의 카메라 동영상은 동기화되어 잘라내어



그림 9 책 읽어주기의 모습

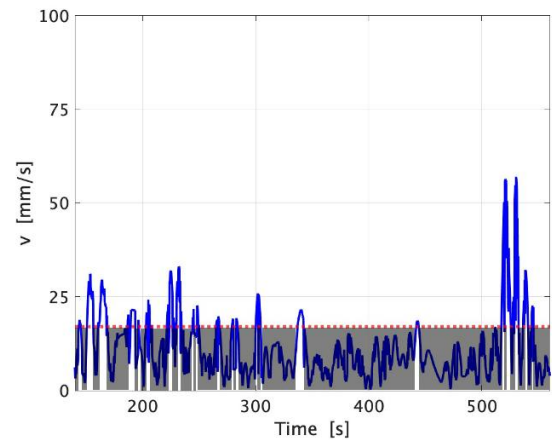


그림 10 대상 원아의 머리의 속도

지며, 동영상에는 해석 대상인 원아에게 출석번호 인덱스가 부여된다. 동영상은 4화면 동시에 재생할 수도 있고, 개별적으로 재생하는 것도 가능하다. 그림 7, 8의 머리 흔들림을 참조하면서 그림 9의 동영상을 재생하면, 0~140초 사이의 머리 흔들림은 책 읽어주기의 도입으로서 실시하는 손 유희였고, 460~523초 사이는 책 읽어주기의 종료에 따른 정리였다. 이 시간들을 제외하면, 해석의 대상은 140~460초 사이의 동영상이다.

3. 머리 흔들림과 집중의 관계

책 읽어주기 시에 원아의 흔들리는 머리와 집중의 관계를 검토한다. 흔들리는 머리의 속도와 집중 정도를 대응시키기 위해, 설문 조사를 실시하였다. 설문은 원아가 집중하고 있었는지 여부이며, 책 읽어주기 직후에 조사하였다. 설문은 a~d의 4단계이며, 원아별 집중 정도를 보육자에게 평가받았다. 설문에서의 평가는 가장 집중하고 있는 경우가 a, 집중하고 있지 않은 경우가 d이다. 본 실험의 조사 대상 원아 수는 28명이며, 실시 기간은 7주간, 설문 유효 매수는 14였다.

본 시스템에 의해 얻어지는 흔들리는 머리의 속도 데이터와 설문 결과를 대응시키기 위해 일치율을 조사한다. 해석 대상은 책 읽어주기의 시작에 하는 손 유희 및 종료 후의 정리를 제외한, 그림 연극 혹은 그림책을 사용한 순수한 책 읽어주기의 시간만이다. 동영상을 일단 재생하고, 시스템에 손 유희 등을 제외한 해석 시작·종료 시

각 및 흔들림 속도를 입력하면, 시스템은 화면상에 결과를 표시한다. 그림 10은 결과의 표시 예이며, 가로축은 시스템 조작자가 지정한 해석 대상 시간, 세로축은 원아의 머리 흔들림 속도이다. 그림 속 파선은 흔들림 속도이며, 이 경우 17mm/s가 지정되어 있다. 그림 속 열게 색칠된 부분은 머리의 흔들림 속도가 그 17mm/s 이하인 집중한 상태임을 나타내고 있으며, 이 비율 및 시간의 합계도 시스템상에 출력된다.

조작자가 입력하는 머리의 흔들림 속도를 v , 책 읽어주기 중 원아 k 의 머리 움직임이 v 이하였던 비율을 $C_k(v)$ 로 표현하면, 원아 k 의 집중하여 가만히 있었던 비율은 $C_k(v)$ 가 된다. 설문과 머리 흔들림 속도의 관계를 검토하기 위해 새롭게 파라미터 α 를 도입하고, 책 읽어주기 중 머리 흔들림의 비율 $C_k(v)$ 가 α 이상인지 여부에 따라 머리 흔들림으로부터 도출되는 집중도 X_k 를

$$X_k = \begin{cases} 1 & (C_k(v) \geq \alpha) \\ 0 & (C_k(v) < \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

로 표현한다. 책 읽어주기 중에 α 이상의 비율로 머리가 흔들리고 있지 않으면, X_k 는 집중을 나타내는 수치 1이 된다.

설문은 4단계 평가로 실시하였으나, 하위 단계에 대한 응답이 적었기 때문에 2단계로 하여 다시 집계하였다. 원아에 대한 설문의 응답이 a, b인 경우를 1, c, d인 경우를 0으로 하고, 원아의 설문에 의한 집중도로써 변수 Y_k 로 표현한다. 집중도 Y_k 가 1인 경우, 원아 k 의 책 읽어주기 중 평가는 「집중하고 있다」이다.

시스템의 집중도 X_k 와 설문의 Y_k 가 일치하도록 파라미터 v , α 를 조정한다. i 번째 책 읽어주기의 X_k 및 Y_k 의 일치율 F_i 를

$$F_i = \frac{1}{m_i} \sum_{k=1} M_k \quad (2)$$

정의로 한다. 여기서 m_i 는 대상이 되는 원아 수이며, M_k 는 X_k 및 Y_k 의 결과가 일치하는지 여부를 나타내는 다음 식의 파라미터, ω_0 , ω_1 은 가중치이다.

$$M_k = \begin{cases} \omega_0 \times 1 & (X_k = Y_k = 0) \\ \omega_1 \times 1 & (X_k = Y_k = 1) \\ 0 & (X_k \neq Y_k) \end{cases} \quad (3)$$

모든 설문에 대해 (2)식의 일치율을 최대화하는 v , α 를 각각 v^* , α^* 로 하고,

$$\{v^*, \alpha^*\} = \arg \max \frac{1}{n} \sum_{i=1} F_i \quad (4)$$

로 정의한다. 여기서 n 은 대상 설문의 총수이며, 설문의 유효 매수의 절반을 사용하기 때문에 $n=7$ 이다. 설문에서 하위의 응답인 「집중하고 있지 않다(c 혹은 d)」의 선택 수가 적었기 때문에, $\omega_0=2$, $\omega_1=1$ 로 하여 하위의 응답에 대한 가중치를 상위의 그것의 두 배로 설정하고 (4)식을 만족하는 v , α 를 구하면, $v^*=11$, $\alpha^*=0.41$ 이 되었다. 이때 최대화된 일치율의 평균값은 0.94였다.

식 (4)로부터 얻어진 v^* , α^* 를 시스템에 구현하여 집

중을 평가하기 위해, (4)식의 도출에 사용하지 않은 나머지 설문을 이용하여 검증한다. 검증용의 나머지 7매의 설문에 대해, 하위의 응답에 대한 가중치를 $\omega_0=1$ 로 하여 (2)식의 설문 일치율을 구하면, 그 평균은 0.96, 최댓값은 1.00, 최솟값은 0.87이었다. 일치율이 도출 시보다 높아진 것은, 검증용 설문에 하위의 응답이 많이 포함되어 있었기 때문이다. 이상에서 구한 $v^*=11$, $\alpha^*=0.41$ 을 우리 시스템에 구현하여 사용함으로써, 보육자가 느끼는 원아의 집중도와 동등한 평가를 할 수 있게 되었고, 매일의 아이 집중도 파악이 가능해졌다.

4. 결론

본 연구에서는 책 읽어주기 시간을 대상으로 한 원아의 집중 정도를 해석·평가하는 시스템을 개발하였다. 집중도는 교실 내 카메라의 동영상 및 AR 마커가 부착된 원아 모자에 의해 자동으로 측정되며, 그 집중도는 집중하고 있던 시간과 그 비율로 표현된다. 본 시스템이 나타내는 집중도는 보육자에 대해 실시한 설문 결과와 일치하고 있으며, 원아의 머리 흔들림 속도와 집중에는 극히 높은 상관성이 있음이 제시되었다.

본 시스템은 네트워크 카메라 및 서버 PC를 상설하여 사용하고 있기 때문에, 장기간에 걸친 원아 한 명 한 명의 집중력 성장 과정을 파악하는 것이 가능하다. 모든 데이터는 서버에 저장되어 있으므로, 집중하고 있지 않았던 날 혹은 집중할 수 있었던 날에 대한 검증이 가능하다. 본 시스템을 사용한 실증 실험에서는 「앞의 아이와의 간격이 좁았기 때문에 그림 연극이 보이지 않아 집중할 수 없었다」 「친한 아이와 옆자리에 앉으면 수다를 떨어 집중하지 않았다」 「처음 보는 그림 연극이었기 때문에 전원이 끝까지 집중하고 있었다」 등의 분석이 가능해졌고, 「아이들이 앉는 자리를 바꾼다」 「그림 연극을 읽는 방식의 궁리」 등의 대책을 세울 수 있게 되었다.

이번에 해석을 진행해 나가는 가운데, 이야기에 깊이 몰입하여 집중하고 있기 때문에 원아가 동시에 경탄하며 크게 움직이는 경우가 있었다. 원아의 동조하는 동작에 대한 대응은 향후의 과제로 하고자 한다.

참고문헌

- (1) 안테르스 한센 저, 御船由美子 역, “일류의 두뇌”, 선마크출판 (2018).
- (2) “GStreamer: open source multimedia framework”, <https://gstreamer.freedesktop.org/>, 2023년 5월 10일 접속.
- (3) “OpenCV-Open Computer Vision Library”, https://docs.opencv.org/4.7.0/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html, 2023년 6월 1일 접속.
- (4) 斎藤康毅, “밑바닥부터 시작하는 딥러닝”, 오라일리 재팬 (2016).