

رصد حركة مركز ثقل جسم الإنسان في أثناء المشي باستخدام تقانات معالجة الصورة

الدكتور إياد حاتم*

الدكتور محسن داود**

هبة حليوه***

(تاريخ الإيداع 14 / 11 / 2012. قُبل للنشر في 26 / 6 / 2013)

▽ ملخص ▽

يقدم هذا البحث طريقة جديدة في رصد حركة مركز ثقل جسم الإنسان في أثناء المشي عن طريق النقاط فيديو من الأعلى لمارة في الشارع. ويمثل هذا العمل خطوة لاستنباط سمات قد تساعد في تقانات التعرف على الأشخاص والتمييز بين المشي السليم وغير السليم.

تم العمل في هذا البحث على مرحلتين: المرحلة الأولى تضمنت استخدام نموذج النواس المقلوب لنمذجة حركة مركز الثقل في أثناء المشي في المستوي XY. أما المرحلة الثانية فاستخدمت فيها تقانات معالجة الصورة واستخلاص المعالم للحصول على مسار حركة مركز ثقل جسم الإنسان للعينات التي تم التقاطها. بينت الدراسة تطابقاً كبيراً بين النموذج والنتائج التي تم الحصول عليها، مما يفتح المجال أمام المزيد من الأبحاث لاكتشاف عيوب المشي أو تطوير خوارزميات المشي عند الروبوتات البشرية.

الكلمات المفتاحية: معالجة الصور، معالجة الفيديو، نموذج النواس المقلوب، مركز ثقل جسم الإنسان، تحليل المشي عند الإنسان.

* استاذ مساعد - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** استاذ - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة ماجستير وقائم بالأعمال معاون - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Tracking of pedestrian center of gravity by using image processing techniques

Dr. Iyad Hatem^{*}
Dr. Mohsen Daoud^{**}
Hiba Helewa^{***}

(Received 14 / 11 / 2012. Accepted 26 / 6 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

This paper presents a new method for tracking the center of gravity (COG) path in video images of pedestrian. This new method applies a new technique to derive parameters that can assist in applications such as human recognition and detection of human gait problems.

The new technique was implemented in two stages. First, the inverted pendulum model was used for modeling COG track in the 2-dimensional space. In the second stage, image processing techniques and feature extraction methods were investigated to track the COG path of pedestrian video images. Final results showed a significant correspondence between the results of the proposed model and that of the image processing work. These results open door for further research to discover defects in human gait and to develop algorithms for bipedal robots.

Keywords: Image Processing, Video Image Processing, Inverted Pendulum Model, Human COG, Human Gait Analysis.

^{*} Associate professor, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria , iyad.hatem@gmail.com

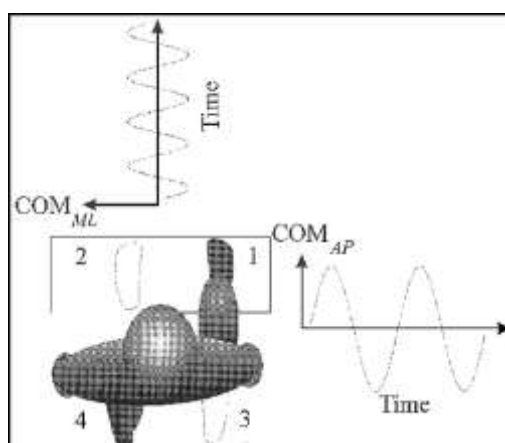
^{**} professor, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

^{***} Postgraduate student and Teacher Assistant, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria, hhelewa@gmail.com

مقدمة:

ظلت دراسة حركة الإنسان مجالاً للبحث الأكاديمي لمئات السنين إذ ظهرت بواكير هذه الدراسات في عصر النهضة من قبل ليوناردو ديفينشي ، وجاليليو ، ونيوتن ، وبورلي ، ويراوني ، وفيتشر [1,2]. ثم تزايد الاهتمام بدراسة المشي عند الإنسان ، فنشرت الآلاف من الأبحاث العلمية والسريرية التي تسعى إلى فهم الآلية المسؤولة عن هذه الحركة.

يتم التحقق من السلوك العام للجسم في أثناء الحركة عن طريق إجراء دراسة كينماتيكية وديناميكية لمركز ثقل كل جزء من أجزائه. ويعتبر نموذج النواس المقلوب أسهل نماذج هذه الدراسة وأكثرها شيوعاً [3]، يصف هذا النموذج عملية المشي بمتغيرين أساسيين: مركز ثقل جسم الإنسان ونقطة العزم الصفرية. يُعرّف مركز ثقل جسم الإنسان بأنه عبارة عن نقطة وهمية تفترض أن كامل كتلة الجسم متوضعة فيها. أما نقطة العزم الصفرية فهي النقطة التي تطبق عليها قوى رد فعل الأرض، وهي عبارة عن نقطة اتصال الجسم بالأرض حيث تكون العزوم حول المحاور الأفقية مساوية للصفر [4]. يتأرجح مركز ثقل جسم الإنسان في أثناء المشي الطبيعي يميناً ويساراً بشكل جيبي يتم خلال هذا التأرجح انتقال وزن الجسم من قدم إلى أخرى كما ينتقل مركز الثقل قدماً إلى الأمام بحركة جيبيه أيضاً وينصف التردد كما في الشكل (1) [5].



الشكل (1) مخطط يوضح تأرجح مركز الثقل في أثناء المشي [5]

ظهرت عدة طرق لتتبع حركة مركز الثقل نذكر منها: طريقة الأجزاء الحركية segmental kinematics method وطريقة التكامل المضاعف لقوى رد فعل الأرض وطريقة مرشح الترددات المنخفضة وطريقة حركة الحوض. تعتمد طريقة الأجزاء الحركية [6] على تعريف مركز الثقل وعلى نمذجة الجسم باعتباره سلسلة حركية مكونة من مجموعة من الأجزاء الصلبة. يتم قياس موقع مركز ثقل كل جزء من أجزاء الجسم واتجاهه وكتلته ، ثم يتم حساب حركة مركز الثقل لكامل الجسم. فيما تعتمد طريقة التكامل المضاعف لقوى رد فعل الأرض GRF على قانون نيوتن الثاني [7]، الذي ينص على أن مجموع القوى المؤثرة في الجسم تساوي كتلة هذا الجسم مضروبة بتسارعه. وبما أن صفائح القوة force plate تقوم بقياس كتلة الجسم والقوى الخارجية المؤثرة فيه بدقة، يمكننا حساب مقدار انتقال مركز الثقل بإجراء تكامل مضاعف للتسارع بعد طرح تسارع الجاذبية الأرضية منه وبعد تحديد قيم ثوابت أولية مناسبة للتكامل من مثل قيم الموضع والسرعة الابتدائيتين [8]. تعتمد طريقة مرشح الترددات المنخفضة low-pass filter على

حقيقة مفادها أن ترددات حركة نقطة العزم الصفيرية تكون أعلى من ترددات حركة مركز الثقل [9]، فضلاً عن أنه توجد علاقة رياضية توصف النسبة بين مطالبي حركة مركز الثقل وحركة نقطة العزم الصفيرية في المجال الترددي، وذلك بفرض أن الحركة دورية وأنه يمكننا نمذجة الجسم على أنه نواس مقلوب متأرجح *oscillating inverted pendulum* [10]. تفترض الطريقة الرابعة أن حركة مركز الثقل مشابهة لحركة الحوض [11] وهذا الافتراض قد يكون منطقياً إذا كان المشي سليماً، ولكنه يصبح غير دقيق عندما تزداد الحركة النسبية بين أجزاء الجسم حيث تتأثر إحداثيات مركز ثقل الجسم بالحركة المستقلة لأجزائه. تمت مقارنة هذه الطرق فيما بينها من قبل العديد من الباحثين [12,13]. ويمكن تلخيص نتائج مقارنتهم أنه بشكل عام تتشابه نتائج طريقة الأجزاء الحركية مع طريقة التكامل المضاعف لقوى رد فعل الأرض وهما أفضل من طريقتي مرشح الترددات المنخفضة وطريقة حركة الحوض. وعلى الرغم من القبول الواسع للطريقتين المذكورتين آنفاً إلا أن لكل طريقة محدداتها، حيث يعتمد أداء طريقة الأجزاء الحركية على دقة تحديد الكتل التقريبية وإحداثيات مراكز ثقل أجزاء الجسم. كما أن تحديد موضع أجزاء الجسم واتجاهها يعتمد على دقة وضع العلامات *marker* أو الحساسات. بينما تعتمد دقة طريقة التكامل المضاعف لقوى رد الفعل على تحديد قيم الثوابت الابتدائية للتكامل. ويكمن موطن الضعف الأساسي لكل الطرق السابقة، أنها محصورة ضمن البيئة المخبرية فضلاً عن القصور المترافق مع أجهزة قياس مسار مركز الثقل. حيث تتحدد دقة طريقتي الأجزاء الحركية وحركة الحوض بدقة قياسات نظام القياس الضوئي المستخدم. أما الطريقتان الباقيتان فتتحدد دقتهما بعدد صفائح القوى المستخدمة والتوضع الصحيح للقدم على الحساسات في أثناء المشي [3].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في قياس مسار مركز الثقل بشكل مستمر في أثناء المشي لما يحتويه هذا المسار من معلومات مهمة حول التوازن الديناميكي. إذ تتغير حركة مركز الثقل بشكل آني ومستمر مما يجعلنا قادرين على التمييز بين المشي السليم وغير السليم. وأثبتت الدراسات أيضاً أن الإنسان الآلي الأكثر استقراراً هو الذي يتم التحكم فيه بحيث يتحرك مركز ثقله في أثناء المشي بمسار أقرب ما يمكن لمسار مركز ثقل الإنسان الطبيعي [14]. فضلاً عن أن هذا البحث غير محدود بالبيئة المخبرية فقط بل يمكن القيام به في الحياة اليومية الطبيعية أيضاً. إن الهدف الأساسي وراء هذه الدراسة هو تحديد مسار مركز الثقل بشكل مستمر في أثناء المشي باستخدام تقنيات معالجة الصورة ومقارنة المسارات الناتجة مع تلك التي تم الحصول عليها من نموذج النواس المقلوب.

طرائق البحث ومواده:

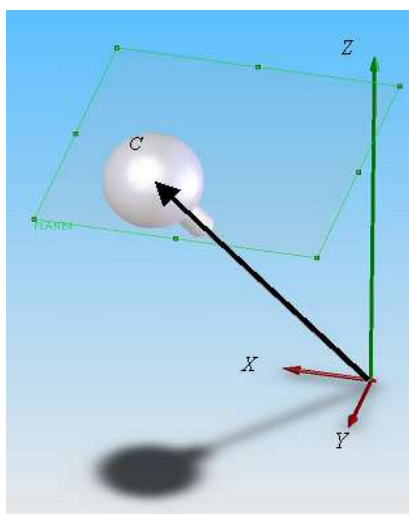
تم التقاط مقاطع فيديو من الأعلى للأسفل لأناس تمشي بالشارع بشكل عشوائي بواسطة كاميرا بدقة 8 ميغا بكسل بمعدل 18 إطاراً في الثانية وقد خزنت مقاطع الفيديو في ملفات بصيغة *mp4*. تم تحويلها إلى مقاطع فيديو *320X240* ذات صيغة *avi* وتم تنفيذ كامل عمليات معالجة الصور واستخلاص السمات باستخدام برنامج *Matlab* عبر جهاز حاسوب ذي معالج *Intel® Core™ 2Due* بسرعة *1.66* ضمن نظام تشغيل *Windows 7 ultimate*.

النتائج والمناقشة:

المرحلة الأولى: نمذجة مسار مركز ثقل جسم الإنسان:

نموذج النواس المقلوب الخطي:

الهدف الرئيسي من استخدام نموذج النواس المقلوب هو استخلاص النموذج الأساسي لديناميك المشي على القدمين biped dynamics المعقد وغير الخطي، واستخدامه في شرح الآلية الديناميكية المهيمنة على هذا النظام. نفرض في النموذج المبين في الشكل (2) أن كامل كتلة الجسم متوضعة في مركز الثقل $C = [c_x, c_y, c_z]^T$ وأن رجل الإنسان تمثل حاملاً عديم الكتلة. وللتبسيط نفترض أن ارتفاع النواس ثابت مما يجعل هذا النموذج خطياً.



الشكل (2) نموذج النواس المقلوب

تُحسب إحداثيات نقطة العزم الصفيرية في المستوي XY وفقاً لمبدأ دالمبرت [15] بالمعادلات الآتية:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g) x_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \quad (1)$$

$$P_y = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g) y_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{y}_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \quad (2)$$

حيث: P_x و P_y إحداثيات نقطة العزم الصفيرية على المحورين X و Y على التوالي

m_i كتلة الجسم i

$\ddot{x}_i, \ddot{y}_i, \ddot{z}_i$ تسارع الجسم i على المحاور Z و Y و X على التوالي

ويفرض أن كتلة النواس هي m وأن إحداثيات مركز الثقل $C = [c_x, c_y, c_z]^T$ تصبح المعادلات الديناميكية

للنواس المقلوب (1) و (2) على الشكل الآتي:

$$p_x = \frac{m(\ddot{c}_z + g)c_x - m\ddot{c}_x c_z}{m(\ddot{c}_z + g)} \quad (3)$$

$$p_y = \frac{m(\ddot{c}_z + g)c_y - m\ddot{c}_y c_z}{m(\ddot{c}_z + g)} \quad (4)$$

للحصول على معادلات خطية من المعادلتين (3) و(4) غير الخطيتين نفترض أن مطال النواس البسيط على المحور z ثابت $c_z = z_c$ فتصبح المعادلات:

$$p_x = c_x - \frac{1}{\omega_n^2} \ddot{c}_x \quad (5)$$

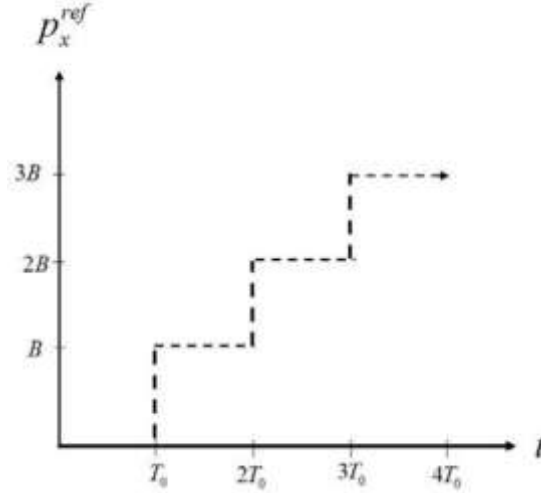
$$p_y = c_y - \frac{1}{\omega_n^2} \ddot{c}_y \quad (6)$$

حيث ω_n هي التردد الطبيعي للنواس $\omega_n = \sqrt{\frac{g}{z_{COM}}}$.

وبما أن المعادلتين (5) و(6) تمثلان معادلات نقطة العزم الصفيرية فمن السهل جداً حساب إحداثيات تلك النقطة عندما تكون إحداثيات مركز الثقل معلومة.

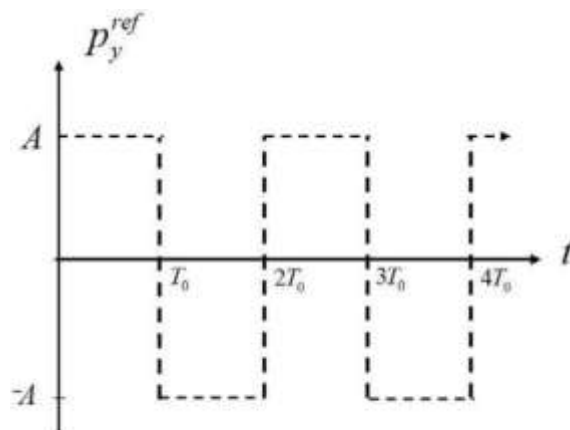
الحل التقريبي لنموذج النواس المقلوب:

أثبتت بعض الدراسات أن استخدام مسار نقطة عزم صفيرية مرجعي في أثناء توليد مسار المشي سيؤدي إلى توليد مسار مركز كتلة طبيعي [16]. قدم تشوي وزملاؤه [17] طريقةً لتحديد مسار مركز الكتلة باستخدام الحل التقريبي ذي التوايح المنتهية. واستخدم تشوي وزملاؤه مسار نقطة العزم الصفيرية المحدد سابقاً لإيجاد الحل الدقيق لمعادلات نموذج النواس المقلوب الخطي. يمثل الشكل (3) المسار المرجعي لنقطة العزم الصفيري في المستوي السهمي أي على المحور X بدلالة الزمن.



الشكل (3) المسار المرجعي لنقطة العزم الصفيرية على المحور x , p_x^{ref}

ويمثل الشكل (4) المسار المرجعي لنقطة العزم الصفيري في المستوي الأمامي frontal plane بدلالة الزمن.



الشكل (4) المسار المرجعي لنقطة العزم الصفيرية على المحور p_y^{ref} , y

يمكن تمثيل المسارات المرجعية المبينة في الأشكال (3) و (4) بالمعادلات الآتية:

$$p_x^{\text{ref}} = B \sum_{k=1}^{\infty} 1(t - kT_0) \quad (7)$$

$$p_y^{\text{ref}} = A1(t) + 2A \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k 1(t - kT_0) \quad (8)$$

حيث: A المسافة بين مركزي القدمين في المستوي الأمامي.

B المسافة بين مركزي القدمين في المستوي السهمي.

T_0 دور المشي.

$1(t)$ تابع الخطوة الواحدة

بفرض أن التابع الممثل لمسار نقطة العزم الصفيرية في المستوي X هو تابع فردي ذو تردد T_0 عندها تصبح

معادلة المسار المرجعي لنقطة العزم الصفيرية على المحور X الممثلة في المعادلة (7) على الشكل الآتي:

$$\begin{aligned} \dot{p}_x(t) &:= p_x^{\text{ref}}(t) - \frac{B}{T_0} \left(t - \frac{T_0}{2} \right) \quad (9) \\ &= \frac{B}{T_0} \left(t - \frac{T_0}{2} \right) \text{ و } \dot{p}_x(t + T_0) = \dot{p}_x(t) \end{aligned}$$

وبفرض أن مسار مركز الكتلة المرجعي على المحور X له شكل سلسلة فورييه [18] على الشكل الآتي:

$$C_x^{\text{ref}}(t) = \frac{B}{T_0} \left(t - \frac{T_0}{2} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{n\pi}{T_0} t\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi}{T_0} t\right) \right] \quad (10)$$

يمكن إيجاد العلاقة بين معادلة نقطة العزم الصفيرية التفاضلية (5) والمعادلة (10) على الشكل الآتي:

$$p_x^{\text{ref}}(t) = \frac{B}{T_0} \left(t - \frac{T_0}{2} \right) - \dot{p}_x(t) \quad (11)$$

حيث:

$$\dot{p}_x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \left(1 + \frac{n^2 \pi^2}{T_0^2 \omega_n^2} \right) \cos\left(\frac{n\pi}{T_0} t\right) + b_n \left(1 + \frac{n^2 \pi^2}{T_0^2 \omega_n^2} \right) \sin\left(\frac{n\pi}{T_0} t\right) \right] \quad (12)$$

وبما أن $\dot{p}_x(t)$ هو تابع فردي ذو تردد T_0 فإن المعامل $a_n = 0$ ويمكننا إيجاد b_n بحل المعادلة الآتية:

$$b_n \left(1 + \frac{n^2 \pi^2}{T_0^2 \omega_n^2} \right) = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} \dot{p}_x(t) \sin \left(\frac{n\pi}{T_0} t \right) dt \quad (13)$$

فتكون قيمة b_n على الشكل الآتي:

$$b_n = \frac{BT_0^2 \omega_n^2 (1 + \cos n\pi)}{n\pi (T_0^2 \omega_n^2 + n^2 \pi^2)} \quad (14)$$

نتيجة لذلك يمكن إيجاد مسار مركز الثقل المرجعي على المحور x بتعويض المعادلة (14) في المعادلة (10)

كما يأتي :

$$C_x^{ref}(t) = \frac{B}{T_0} \left(t - \frac{T_0}{2} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{BT_0^2 \omega_n^2 (1 + \cos n\pi)}{n\pi (T_0^2 \omega_n^2 + n^2 \pi^2)} \sin \left(\frac{n\pi}{T_0} t \right) \right] \quad (15)$$

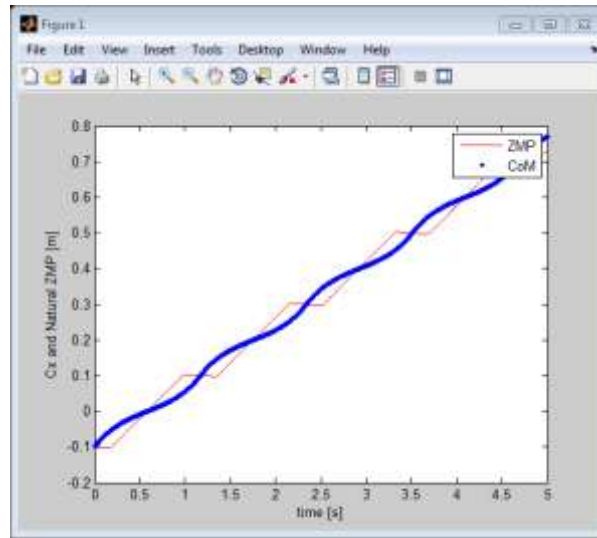
كما أن المسار المرجعي لنقطة العزم الصفريّة $p_y^{ref}(t)$ على المحور y ذي المعادلة (8) هو تابع فردي بتردد T_0

فيمكن إيجاد مسار مركز الثقل المرجعي على المحور y بطريقة مشابهة كما يأتي:

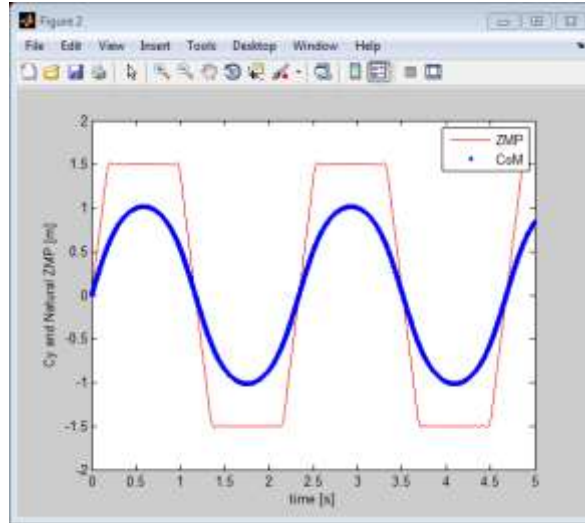
$$C_y^{ref}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2AT_0^2 \omega_n^2 (1 - \cos n\pi)}{n\pi (T_0^2 \omega_n^2 + n^2 \pi^2)} \sin \left(\frac{n\pi}{T_0} t \right) \right] \quad (16)$$

يمثل الشكلان (5) و(6) نتيجة تطبيق معادلات مسار مركز الثقل على المحورين x و y عند شخص طول

خطوته الواحدة 0.5 m وطول خطوته الكاملة 1m وبتردد مشي $T_0 = 1$ باستخدام برنامج Matlab.



الشكل (5) المسار المرجعي لمركز الثقل على المحور x بفرض أن $T_0 = 1, B = 1$

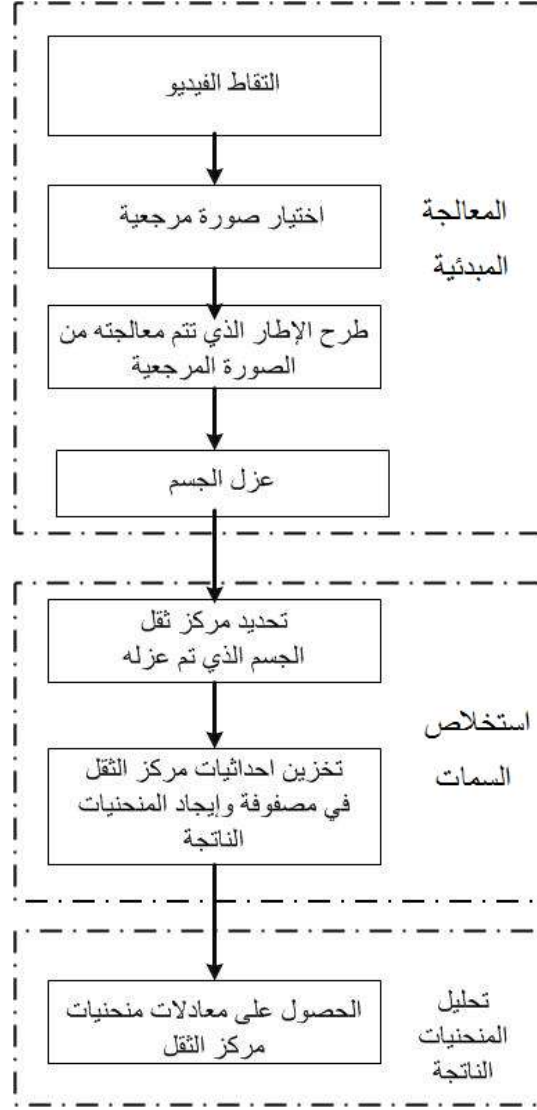


الشكل (6) المسار المرجعي لمركز الثقل على المحور x بفرض أن $A = 0.5$

المرحلة الثانية: رصد مسار مركز الثقل باستخدام تقانات معالجة الصورة

يبين الشكل (7) المراحل الثلاث الرئيسة في خوارزمتنا وهي:

1. المعالجة المبدئية
2. استخلاص السمات
3. تحليل المنحنيات الناتجة



الشكل (7) الخوارزمية المقترحة

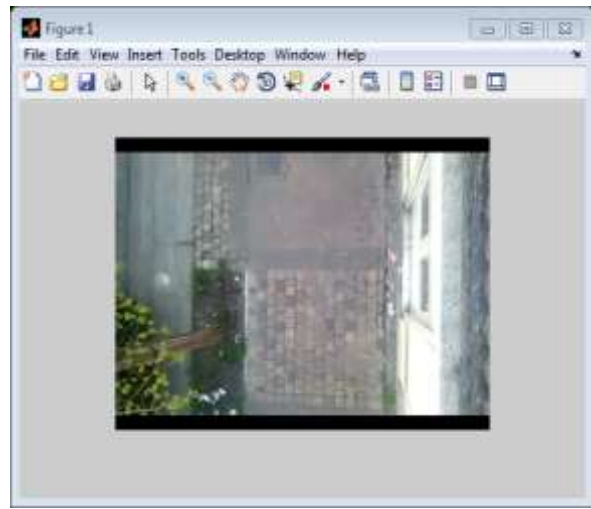
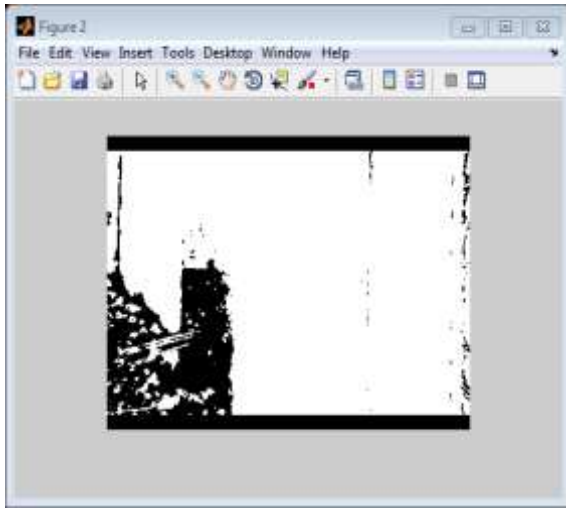
1. المعالجة المبدئية:

تقوم هذه المرحلة برصد الشخص المار في الفيديو المعالج وعزله في صورة ثنائية. تلتقط الكاميرا مجموعة من الفيديوهات من الأعلى لأشخاص تمشي في الهواء الطلق حيث تكون خلفية الصورة غير ثابتة (تتغير تبعا لعدة عوامل كالحركة العرضية لأوراق الأشجار). تم تعيير الكاميرا بحيث يمثل كل بكسل في الصورة بـ 1 سنتيمتر على أرض الواقع.

1.1 طرح خلفية الصورة:

إن أسهل الطرق المستخدمة للتخلص من خلفية الصورة هو طرح صورة الإطار الحالي من صورة مرجعية تمثل خلفية الصورة المعالجة. ومن المعروف أن هذه الطريقة كثيرة الأخطاء ولا تصلح لمعالجة الفيديو الملتقط في الهواء الطلق [19] لذلك تم اقتراح استبدال النظام اللوني RGB بنظام آخر يأخذ التغيرات في الإضاءة بالحسبان وهو نظام .HSI.

تم اختيار صورة مرجعية مناسبة لكل أطر الفيديو. تمثل هذه الصورة الخلفية كما في الشكل (a,7) وهي عبارة عن صورة ملونة ذات أبعاد 240X320 نحولها إلى صورة ثنائية كما في الشكل (b,7).

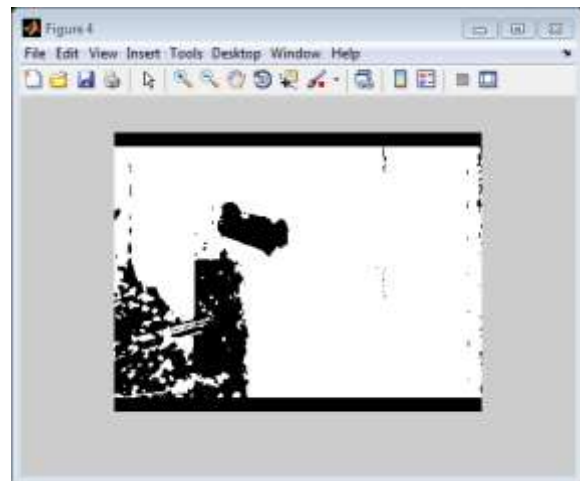
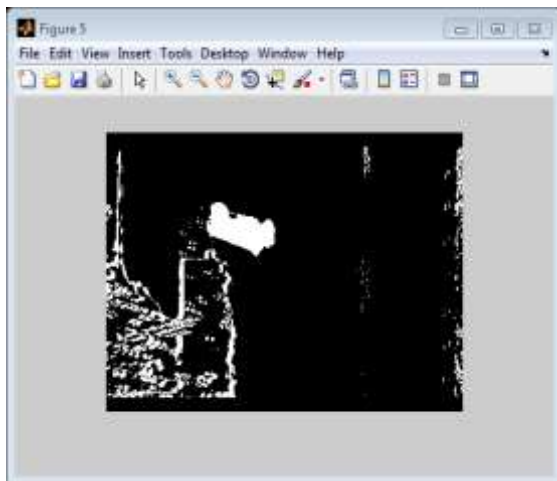


(b) الصورة الثنائية

(a) الصورة الملونة

الشكل (7) الصورة المرجعية

للحصول على جسم الإنسان من مقطع فيديو يتم طرح صورة الإطار الحالي المعالج بعد تحويلها إلى صورة ثنائية BW كما في الشكل (a,8) من الصورة المرجعية الظاهرة في الشكل (b,7) فيكون ناتج الطرح هو عبارة عن صورة ثنائية BW تحتوي على جسم الإنسان فضلاً عن التشويش كما يظهر في الشكل (b,8).



(b) نتيجة الطرح

(a) الصورة المعالجة

الشكل (8) الحصول على جسم الإنسان من لقطة في مقطع فيديو

1.2 عزل الجسم

للتخلص من التشويش الناتج عن طرح الخلفية تطبق العمليات المورفولوجية الآتية:

1. التقليل shrink: تقوم هذه العملية بحساب مركز ثقل كل عنصر ثم يقوم بتقليل هذا الجسم مع الحفاظ على مركز ثقله كما في الشكل (a,9)

```
BW = bwmorph(differ,'shrink');
```

حيث إن: BW الصورة الناتجة عن عملية التقليل

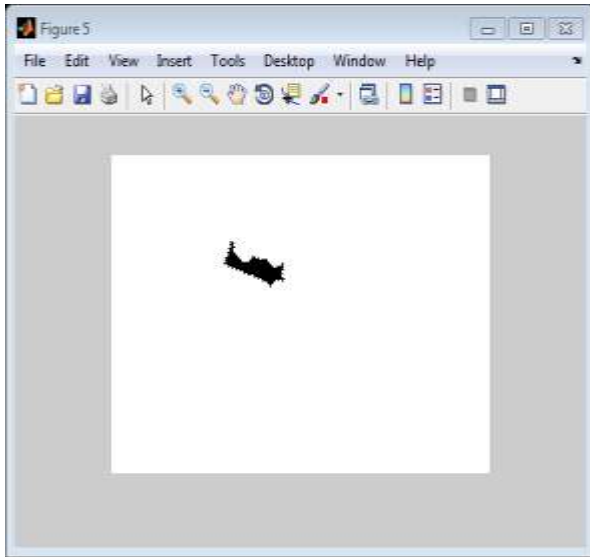
Differ الصورة الناتجة عن عملية طرح الخلفية

2. الترشيح بحسب المساحة Bwopenarea: تقوم هذه العملية بحذف أي عنصر ثقل مساحته عن المساحة المعطاة والتي تقدر ب 50 وفقاً للتعليمات الآتية:

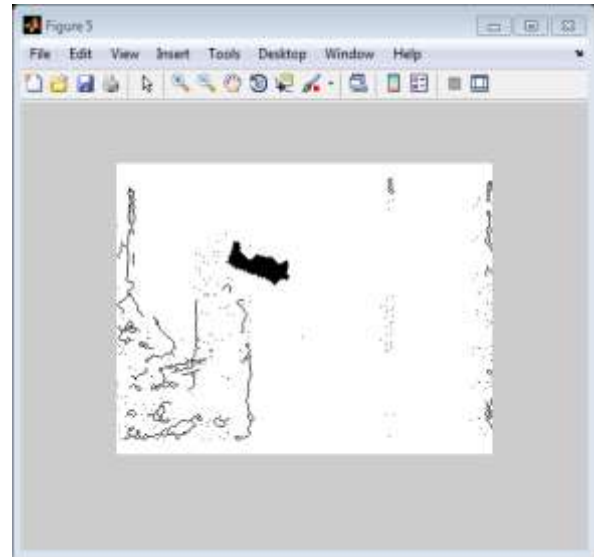
```
BW2=bwareaopen(BW,50);
```

حيث إن: BW2 الصورة الناتجة عن الترشيح بحسب المساحة

بتطبيق العمليات المذكورة آنفاً على الصورة يكون قد تم عزل الجسم كما يظهر في الشكل (b,9).



(b) الصورة بعد تطبيق الترشيح بحسب المساحة



(a) الصورة بعد تطبيق التقليل

الشكل (9) عزل جسم الإنسان من لقطة في مقطع فيديو¹

2.2 استخلاص السمات

بعد عزل الكائن الممثل لجسم الإنسان في الإطار المعالج، تم حساب مركز ثقل هذا الكائن باستخدام تقانة كامل المساحة، والتي تقوم بإيجاد مركز الثقل عن طريق إيجاد متوسط إحداثيات كل بكسل من البكسلات الممثلة للكائن، كما في التعليمات الآتية:

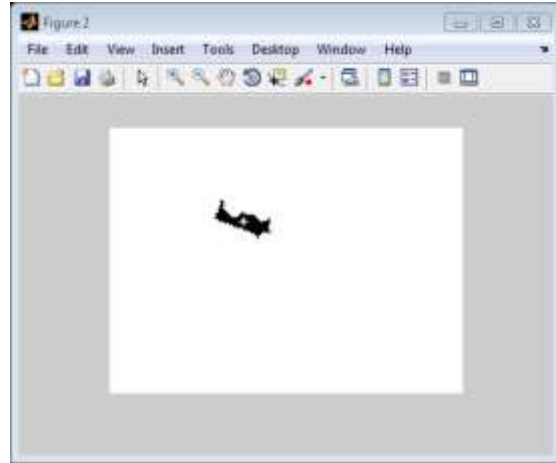
```
s = regionprops(BW2, 'Centroid');
```

يوضح الشكل (10) مركز الثقل المحسوب للكائن الممثل لجسم الإنسان والذي تم تمثيله بـ *

¹ تم إظهار معكوس الصورة الناتجة حتى تتضح العمليات المنجزة



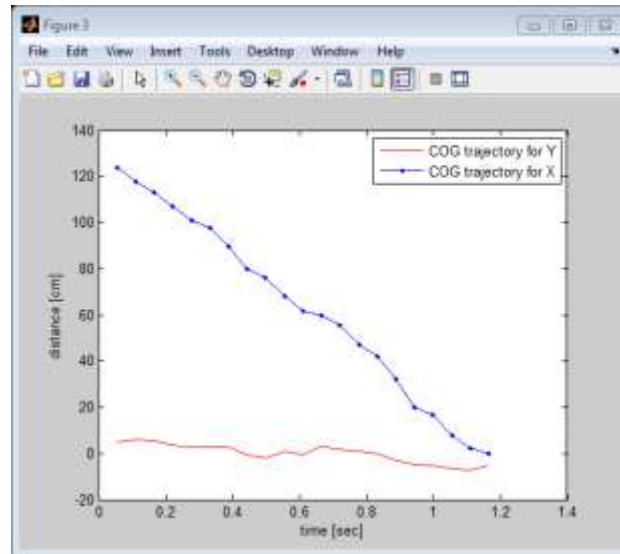
(b) تحديد مركز الثقل على جسم الإنسان في الصورة الحقيقية



(a) تحديد مركز الثقل على العنصر المعزول

الشكل (11) عزل جسم الإنسان من لقطة في مقطع فيديو

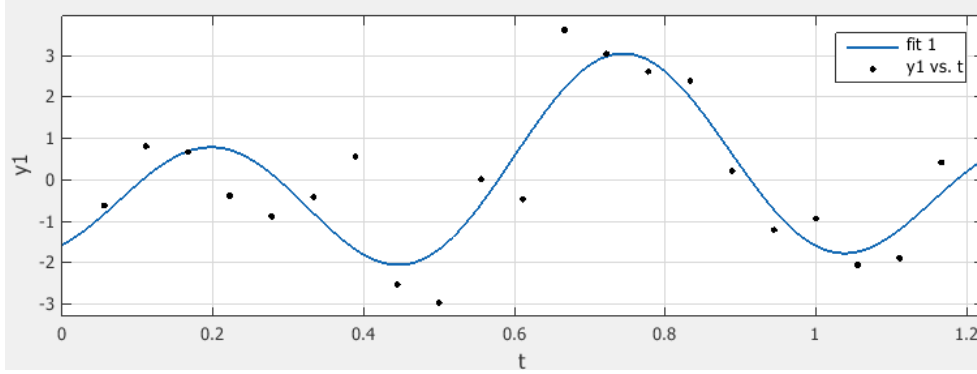
بعد الحصول على إحداثيات مركز الثقل على المحورين y, x ، تم تخزين هذه الإحداثيات في مصفوفتين مختلفتين كما في الشكل (12). وتعد الخطوات السابقة من أجل بقية اللقطات في الفيديو.



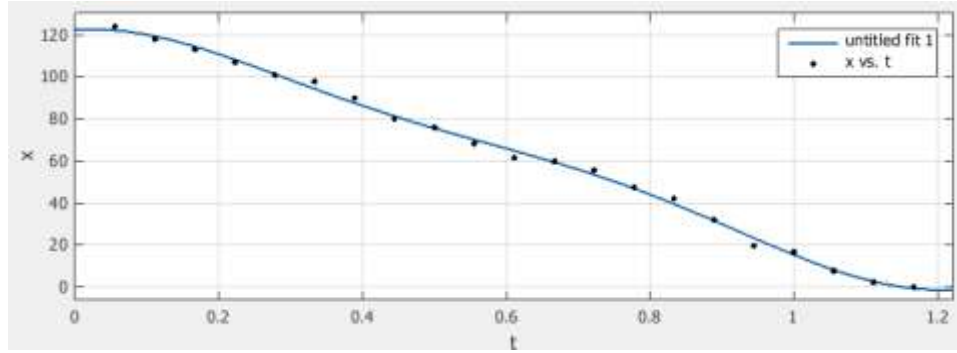
الشكل (12) إزاحة مركز الثقل على المحورين y, x .

تكمّن الخطوة الآتية في تحليل الإشارة الواصفة لسلوك مركز ثقل جسم الإنسان في أثناء المشي للحصول على أكبر قدر من المعلومات والقيم المميزة للمشي. للقيام بهذه الخطوة يتم تحويل المنحنيات الناتجة إلى معادلات رياضية، وبما أن أي إشارة تتركب من مجموع عدد لا نهائي من الإشارات الجيبية، فإنه يمكن باستخدام ملاءمة المنحنيات إيجاد سلسلة فورييه التي تمثل منحنى مركز الكتلة على المحورين X و Y اللذين تم الحصول عليهما من الخطوات السابقة.

يمثل الشكل (13) ملائمة المنحني على المحور Y باستخدام تابع يمثل التوافقية الأولى فقط لسلسلة فورييه. بينما يمثل الشكل (14) ملائمة المنحني على المحور X .

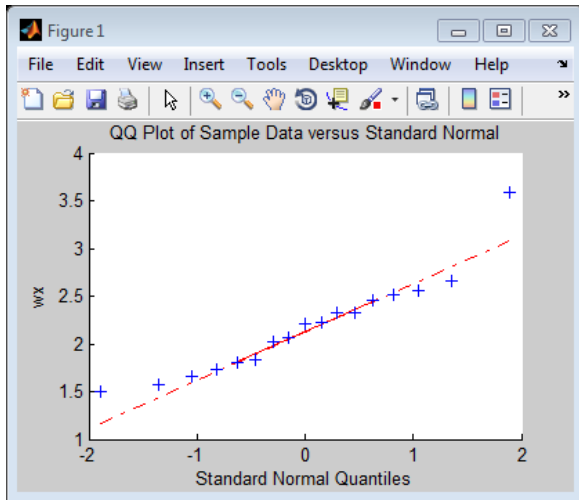


الشكل (13) ملائمة المنحني على المحور Y

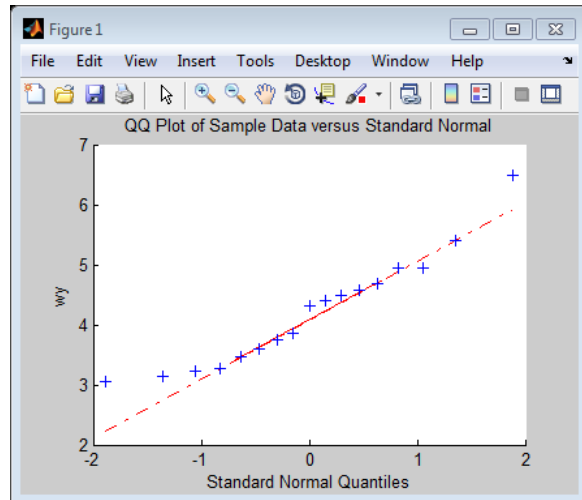


الشكل (14) ملائمة المنحني على المحور X

تم الحصول على منحنيين مختلفين لكل شخص أحدهما يمثل مسار مركز الكتلة على المحور X والآخر على المحور Y . تم استخدام منحنيات $2qqplot$ لإظهار قيم النتائج التي تم الحصول عليها. يظهر الشكل (15) قيم ترددات المشي على المحورين X و Y .



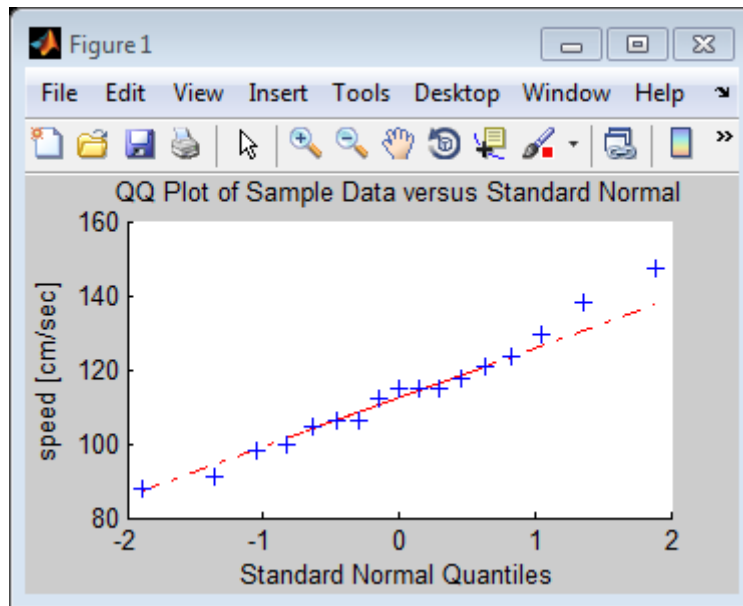
(b) ترددات المشي على المحور x.



(a) ترددات المشي على المحور y.

الشكل (15) ترددات المشي على المحورين x,y.

يمكن أيضا حساب مقدار سرعة الشخص المشي وهو عبارة عن المسافة المقطوعة في الزمن ويعبر عنه بميل المنحني على المحور X.



الشكل (16) قيم السرعة

النتائج:

بدراسة النتائج الممثلة في الشكلين (15) و(16) يمكن الحصول على الاستنتاجات الآتية :

1. إن ترددات الانزياح وفقاً للمحور x والتي تتراوح بين (1.5-3.5) تساوي تقريباً ضعف ترددات الانزياح وفقاً للمحور y والتي تتراوح بين (3-7) وهذا ما يطابق النتائج التي وصل إليها الباحثون في المرجع [5].
2. تتراوح قيم الميل للمنحني الممثل للانزياح وفقاً للمحور y والتي تعبر عن مقدار سرعة الإنسان في أثناء المشي بين 97cm/s و125 للأشخاص البالغين الذين تمت معالجة مشيتهم وهذا مشابه لما وصل إليه الباحثون في المرجع [22]، بينما وصلت قيمة السرعة لطفلة في أثناء المشي إلى 150.7 cm/s والسرعة لرجل عجوز 85.97 cm/s.

الاستنتاجات والتوصيات:

قدم هذا البحث طريقة جديدة لرصد مسار مركز ثقل جسم الإنسان وفقاً للمستوي xy باستخدام فيديو ملتقطة من كاميرا واحدة مركبة بشكل عمودي على هذا المستوي. حيث يمكن تقسيم العمل المنجز إلى مرحلتين المرحلة الأولى تم فيها استخدام تقانات معالجة الصورة في معالجة الفيديوهات الملتقطة من أجل عزل جسم الإنسان الذي يمشي ، ونتج لدينا في نهاية هذه المرحلة لقطات ثنائية تمثل جسم الإنسان المعزول فقط. أما في المرحلة الثانية فتم تحويل جسم الإنسان إلى كائن في الصورة وتم تحديد مركز ثقله في كل لقطة من اللقطات. تم بالنتيجة الحصول على منحنيات لحركة مركز ثقل جسم الإنسان ف أثناء المشي، وتمت مقارنتها بالمنحنيات الناتجة عن عملية النمذجة الرياضية.

يمكن اعتبار النتيجة التي تم الوصول إليها خطوة أولى لاستنباط معالم تساعد في مجال التعرف على الأشخاص وكذلك في مجال التمييز بين المشي السليم والمعيب، كما أن المعادلات الناتجة عن تحليل المنحنيات قد تعطي معلومات أكثر عن التحليل الميكانيكي والكينماتيكي للمشي عند الإنسان وهذا يمثل الخطوة التالية في دراسات وأبحاث تقوم بتطوير خوارزميات التحكم بالمشي في الروبوتات البشرية.

المراجع:

1. Maquet P., *on the movement of animals [Transl. of G. Borelli]* Berlin, Germany: Springer, 1989.
2. Maquet P., Furlong R., *The human gait [Transl. of W. Braune and O. Fischer]* Berlin, Germany: Springer, 1987.
3. D. A. Winter, *Human balance and posture control during standing and walking, Gait Posture, vol. 3, no. 4, pp. 193–214, 1995.*
4. Edwin H. F. van Asseldonk, Jaap H. Buurke, Peter H. Veltink, Schepers M., *Ambulatory Estimation of Center of Mass Displacement during Walking, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 56, NO. 4, 2009*
5. Michael D. McPartland, *Quantifying ataxia: Ideal trajectory analysis .A technical note, Journal of Rehabilitation Research and Development Vol.37, No. 4, 445—454, 2000.*
6. S. S. Hasan, D.W. Robin, D.W. Szurkus, D. H. Ashmead, S.W. Peterson, and R. G. Shiavi, *Simultaneous measurement of body center of pressure and center of gravity during upright stance. Part I: Methods, Gait Posture, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 1996.*
7. T. Shimba, *An estimation of center of gravity from force platform data, J. Biomech., vol. 17, no. 1, 53–60, 1984.*
8. J. M. Donelan, R. Kram, and A. D. Kuo, *Simultaneous positive and negative external mechanical work in human walking, J. Biomech., vol. 35, no. 1, pp. 117–124, 2002.*
9. O. Caron, B. Faure, and Y. Breniere, *Estimating the Centre of gravity of the body on the basis of the Centre of pressure in standing posture, J. Biomech., vol. 30, no. 11, 1169–1171, 1997.*
10. Y. Breniere, *Why we walk the way we do, J. Motor Behav., vol. 28, no. 4, pp. 291–298, 1996.*
11. J. B. Saunders, V. T. Inman, and H. D. Eberhart, *The major determinants in normal and pathological gait, J. Bone Joint Surg. Amer., vol. 35, no. 3, pp. 543–558, 1953.*
12. S. A. Gard, S. C. Miff, and A. D. Kuo, *“Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during walking,” Hum. Movement Sci., vol. 22, no. 6, pp. 597–610, 2004.*
13. E. M. Gutierrez-Farewik, A. Bartonek, and H. Saraste, *“Comparison and evaluation of two common methods to measure center of mass displacement in three dimensions during gait,” Hum. Movement Sci., vol. 25, no. 2, 238–256, 2006.*
14. Jeakweon Han, *Bipedal Walking for a Full-sized Humanoid Robot Utilizing Sinusoidal Feet Trajectories and Its Energy Consumption, Virginia Polytechnic Institute and State, Blacksburg, Virginia, 2012.*
15. M. Vukobratovic, B. Borovac and D. Surla, *Biped Locomotion: Dynamics, Stability and Application, Springer-Verlag, 1990.*
16. S. T. K. Kajita, *"Study of Dynamic Biped Locomotion on Rugged Terrain Theory and Basic Experiment," CAR, Fifth International Conference on Advanced Robotics, vol. 1, 741-746, 1991.*
17. C. T. Y. L. X. K. A. Zhu, *"Biped Walking with Variable ZMP, Frictional Constraint, and Inverted Pendulum Model," in IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Shenyang, China, Aug 2004, p. 425 – 430.*
18. Okan Kurt, *Biped Robot Reference Generation with Natural ZMP Trajectories, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Sabanci University, Istanbul, Turkey, 2006.*

19. E. R. Davies, *Machine Vision*, 3rd edition, New York: Morgan Kaufmann, 2005.
20. *Kajita, S., Kahehiro, F., Kaneko, K., Fujiwara, K., Harada, K., Yokoi, K., Hirukawa, H.*, “ *Biped Walking Pattern Generation using Preview Control of the Zero-Moment-Point*”, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.: 1620 - 1626, vol.2, Taipei, Taiwan, September 2003.
21. *Choi, Y., You, B.J., Oh, S.R.*, “*On the Stability of Indirect ZMP Controller for Biped Robot Systems*”, *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.: 1966 - 1971, vol.2, Sendai, Japan, June 2004.
22. *Souman, Jan L. et al. (2010)*: „*Making virtual walking real: Perceptual evaluation of a new treadmill control algorithm*“. In: *ACM Transactions on Applied Perception(TAP)*. ACM 7 (2),1–14.