

VELOCITY CORRECTION POSITION BASED DYNAMIC TO OPTIMIZE COLLISION COMPUTATION IN CLOTH SIMULATION

NUR SAADAH MOHD SHAPRI
RIZA SULAIMAN
ABDULLAH BADE

ABSTRACT

This study seeks to develop a Velocity Correction Position Based Dynamic (VcCPBD) to enhance the stability of collision response involving the elements of position, velocity and acceleration of nodes particles after SCD collision. The experiments show that the collisions recorded for the VcCPBD technique is not more than 5 milliseconds at each time step. In addition, the average collision this technique also reach smaller value of 1.018% compared to Movement Speed technique 1.995% and Positon-Based Dynamic (PBD) technique 1.151%. The experiment also shows that the proposed integrated technique has resulted in a significant increase of collision computation rates compared with the traditional approach.

Keywords: Self-Collision Detection, Collision Response, Collision Computation

KEDUDUKAN DINAMIK BERASASKAN PEMBAIKAN HALAJU BAGI MENGOPTIMUM KOMPUTASI PERLANGGARAN DALAM SIMULASI KAIN

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan membangun Teknik Kedudukan Dinamik Berasaskan Pembaikan Halaju (VcCPBD) bagi mempertingkatkan kestabilan tindak balas perlanggaran melibatkan kedudukan, halaju dan pecutan nod partikel selepas berlaku perlanggaran Sesama Sendiri (SCD). Uji kaji menunjukkan perlanggaran teknik VcCPBD yang direkod adalah tidak melebihi 5 mili saat pada setiap langkah masa. Selain daripada itu, purata perlanggaran teknik ini juga mencapai nilai lebih kecil sebanyak 1.018% berbanding dengan teknik Halaju Gerakan 1.995% dan teknik Berasaskan Kedudukan Dinamik (PBD) 1.151%. Uji kaji turut menunjukkan teknik yang dicadang dapat menjana peningkatan masa komputasi perlanggaran yang signifikan berbanding dengan pendekatan tradisional.

Kata kunci: Pengesanan Perlanggaran Sesama Sendiri, Tindak Balas Perlanggaran, Komputasi Perlanggaran

PENGENALAN

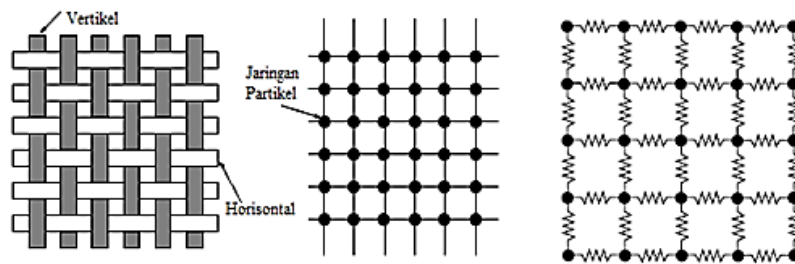
Pemodelan objek kain dalam grafik berkomputer bermula awal tahun 80an lagi. Semua komuniti dalam kumpulan grafik berkomputer menunjuk minat dalam siri memodel struktur objek kain untuk kegunaan bidang pemetaan imej berdasarkan janaan komputer dan siri pembuatan animasi (House & Breen, 2000). Susunan struktur objek kain dalam grafik berkomputer diwakili dengan formula matematik dan teknik komputasi seperti Lengkungan Bezier, Splin, Bebas Ubah Bentuk (FFD), Kaedah Unsur Terhingga (FEM) dan Rangkaian Sistem Jisim-Spring (MSN) (Gibson & Mirtich, 1997; House & Breen, 2000; Omar et al., 2013).

Kaedah rangkaian MSN adalah bertepatan bagi menjana tingkah laku realistik objek boleh ubah bentuk seperti simulasi pembedahan (Courtecuisse et al., 2010 dan Malone et al., 2010) simulasi kulit (Arnab & Raja, 2008 dan Deul & Bender, 2013) simulasi rambut (Chang,

2002; Petrovic et al., 2005 dan Kim & Chentanez, 2012) dan simulasi kain (Bender et al., 2012 dan Zhang et al., 2015). Menurut Omar et al., 2013, rangkaian MSN merupakan model objek yang sesuai bagi mensimulasi objek kain dan banyak diguna pakai dalam grafik berkomputer.

Rajah 1 adalah struktur susunan objek kain dalam rangkaian MSN yang terdiri daripada susunan nod partikel yang bersambungan antara satu dengan lain dan dihubungkan oleh beberapa spring berstruktur untuk bertindak balas dengan daya dalaman seperti tekanan, regangan dan lengkungan. Rangkaian sistem ini melibatkan beberapa nod partikel yang mempunyai hubungan tetap bagi setiap nod partikel dengan jirannya.

Matlamat kajian ini adalah bagi mengoptimum masa komputasi tindak balas perlanggaran pada nod partikel objek kain bagi mengelak penembusan berlaku.



RAJAH 1. Susunan nod partikel yang bersambungan membentuk struktur kain
Sumber: Aono et al., (1996); Boxerman (2003)

TINDAK BALAS PERLANGGARAN

Tindak balas perlanggaran (CR) adalah satu proses memperbaiki tingkah laku interaksi antara nod partikel pada permukaan objek kain yang mengalami perlanggaran sesama sendiri (SCD) yang boleh mempengaruhi bentuk fizikal dan arah pergerakan nod partikel selepas berlaku perlanggaran. Kaedah Berasaskan Kedudukan Dinamik (PBD) (Müller et al., 2006) menyediakan kaedah untuk simulasi dinamik dalam permainan berkomputer. PBD adalah teknik popular untuk simulasi objek boleh ubah bentuk dan diguna secara meluas dalam perisian animasi *PhysX*, *Havok Cloth*, dan *Maya nCloth*. Manakala menurut (Bouaziz et al., 2014) teknik PBD adalah satu teknik yang ringkas dan mudah tetapi secara praktikalnya teknik ini hanya memberi penekanan kepada tingkah laku objek yang fleksibel dan perlahan dari segi kestabilan dan kawalan objek kaku. Teknik yang diguna oleh (Fuhrmann et al., 2003) adalah asas bagi pergerakan nod partikel pada model jisim-spring. Daya paduan D_{ij} yang diguna pada nod partikel adalah dalam persamaan 1.1.

$$D_{ij} = k_{ij} \left(\left| |p_j - p_i| \right| - d_{ij} \right) \cdot \frac{p_j - p_i}{\left| |p_j - p_i| \right|} \quad 1.1$$

Pembetulan pergerakan nod partikel p_i dan p_j perlu memenuhi formula ini $\Delta p_i \leftarrow w_i = \frac{1}{m_i}$, m_i mewakili jisim, w_i mewakili pergerakan nod partikel songsang. Tujuan fungsi spring ini adalah bagi mengawasi dua nod partikel p_i dan p_j dengan d mengikut jarak yang

dikehendaki. Dua nod partikel p_i dan p_j dihubung oleh spring dengan $d_{ij} = 0$. Menurut persamaan 1.2, daya paduan D_{ij} boleh dikira sebagai;

$$\begin{aligned}
 D_{ij} &= -k_s (|p_{ij}| - d_{ij}) \hat{p}_{ij} = -k_s |p_{ij}| \hat{p}_{ij} \\
 &= -k_s |p_{ij}| \frac{p_{ij}}{|p_{ij}|} = -k_s p_{ij} \\
 &= -k_s (p_i - p_j) = k_s \begin{pmatrix} p_{jx} - p_{ix} \\ p_{jy} - p_{iy} \\ p_{jz} - p_{iz} \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

(Dietrich et al., 2011; Kim et al., 2012 dan Macklin & Müller, 2013) mengaplikasi kaedah PBD dalam penyelidikan mereka. Kaedah ini mempunyai jarak tertentu antara nod partikel bagi mengenalpasti nod partikel tidak berlanggar antara satu dengan yang lain. Usaha dalam mencapai kualiti simulasi kain yang dinamik tanpa masalah penembusan dan stabil, boleh diatasi dengan penggunaan daya redaman yang sesuai (Macklin & Müller, 2013 dan Bender et al., 2014). Daya redaman berupaya menjana tahap kestabilan spring dengan mengurangi kadar ayunan daripada kedudukan nod partikel objek bagi meningkat prestasi simulasi kain yang bergerak.

KAEDAH BERASASKAN KEDUDUKAN DINAMIK (PBD)

Objek kain terdiri daripada satu set m nod partikel dan satu set M spring. Setiap nod partikel mempunyai m_i nod partikel, x_i kedudukan nod partikel dan v_i halaju partikel. Pemalar bagi spring M diwakili oleh n_j bilangan spring yang diguna, $C_j: \mathbb{R}^{3n_j} \rightarrow \mathbb{R}$ adalah skalar bagi fungsi spring. $\{i_1, \dots, i_{n_j}\}$, $i_k \in [1, \dots, N]$ adalah set indeks dan $k_j \in [0, \dots, 1]$ ialah parameter bagi objek. Algoritma 1 dalam Rajah 2 adalah algoritma PBD dengan nilai halaju dan kedudukan nod partikel diumpuk nilai pembolehubah dalam baris (1) hingga (3) sebelum ulangan gegelung bermula. Baris (5) dan (6) melaksana persamaan kaedah Euler pada halaju dan kedudukan nod partikel. Kedudukan baru p_i tidak dinyatakan secara langsung dalam algoritma ini. Perlanggaran nod partikel dilaksana pada permulaan di setiap langkah masa di awal baris (7). Penyelesaian baris (8) hingga (10) juga dilaksana secara berulang bagi membaiki kedudukan nod partikel. Akhir perlaksanaan ini, pembaikan kedudukan dan halaju nod partikel perlu dikemaskini. Langkah ini penting bagi pergerakan simulasi dalam sistem dapat dijana dengan tepat. Berpandu pada algoritma 1, matlamat penyelesaian yang menjadi fokus utama adalah pada baris (8) hingga (10). Kedudukan nod partikel p_i berhubungan dengan jumlah spring M yang mempunyai ketidaksamaan daya spring yang bertindak. Oleh itu, untuk membaiki ketidaksamaan ini, persamaan algoritma 1 perlu ditambahbaik dengan menambah nilai daya redaman pada semua spring yang berhubungan dengan nod partikel dan menambah nilai pecutan pada setiap langkah masa ketika berlaku perlanggaran. Nilai daya redaman perlu bagi membantu pergerakan nod partikel dan spring bergerak secara seragam dan baik.

Algoritma 1: PBD

1. Semua partikel i lakukan
2. Umpukkan nilai pembolehubah $x_i = x_i^0, v_i = v_i^0, w_i = \frac{1}{m_i}$
3. Gelung bermula
4. Semua partikel i lakukan $v_i \leftarrow v_i + \Delta t w_i f_{ext}(x_i)$
5. Semua partikel i lakukan $p_i \leftarrow x_i + \Delta t v_i$
6. Semua partikel i lakukan PerlanggaranPartikel ($x_i \rightarrow p_i$)
7. Gelung bermula
LelaranPenyelesaian masa
 - a. Partikel ($C_1, \dots, C_{M+M_{coll}}, P_1, \dots, P_N$)
8. Gelung berakhir
9. Semua partikel i lakukan
 - a. $v_i \leftarrow (p_i - x_i) / \Delta t$
 - b. $x_i \leftarrow p_i$
10. KemaskiniKedudukanPartikel (v_1, \dots, v_N)
11. Gelung berakhir

RAJAH 2. Algoritma PBD

KAEDAH KEDUDUKAN DINAMIK BERASASKAN PEMBAIKAN HALAJU (VcCPBD)

Objek kain dengan satu set p_i nod partikel dan satu set S spring. Setiap p_i nod partikel terdiri daripada x_i kedudukan nod partikel dan v_i halaju nod partikel. Rajah 3 adalah algoritma VcCPBD yang ditambahbaik daripada kaedah PBD dengan nilai halaju, kedudukan nod partikel, nilai pecutan, nilai daya redaman dan nilai jisim nod partikel diumpuk dalam algoritma dan nilai pembolehubah dalam baris (1) hingga (2). Pergerakan nod partikel secara rawak memaksa algoritma melaksana pemeriksaan perlanggaran pada nod partikel p_i di setiap langkah masa dari awal baris (10). Penyelesaian baris (12) hingga (13) dilaksana secara berulang untuk membaiki kedudukan nod partikel. Pada akhir pelaksanaan algoritma, kestabilan pada kedudukan dan halaju nod partikel dikemas kini.

Algoritma 2: Pembetulan Halaju Berasaskan Kedudukan Dinamik (VcCPBD)

1. Semua partikel i lakukan umpukkan nilai pembolehubah;
 $r =$ jejari kekotak
 $s =$ jarak daripada c nod partikel ($c_1 - c_1$)
 $c = (max + min) / 2$
2. $x_i = x_i^0, v_i = v_i^0, a_{i+1}, \delta d = m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx + b \frac{dx}{dt}, w_i = \frac{1}{m_i}$
3. tamat
4. Gelung bermula
5. Semua partikel i berada dalam sempadan
6. Semua partikel i lakukan $v_i \leftarrow v_i + \Delta t w_i f_{ext}(x_i)$
7. Semua partikel i lakukan $p_i \leftarrow x_i + \Delta t v_i$
8. Semua partikel i bergerak secara rawak
9. Semua partikel i lakukan PerlanggaranPartikel ($x_i \rightarrow p_i$)
10. Gelung bermula
LelaranPenyelesaian masa

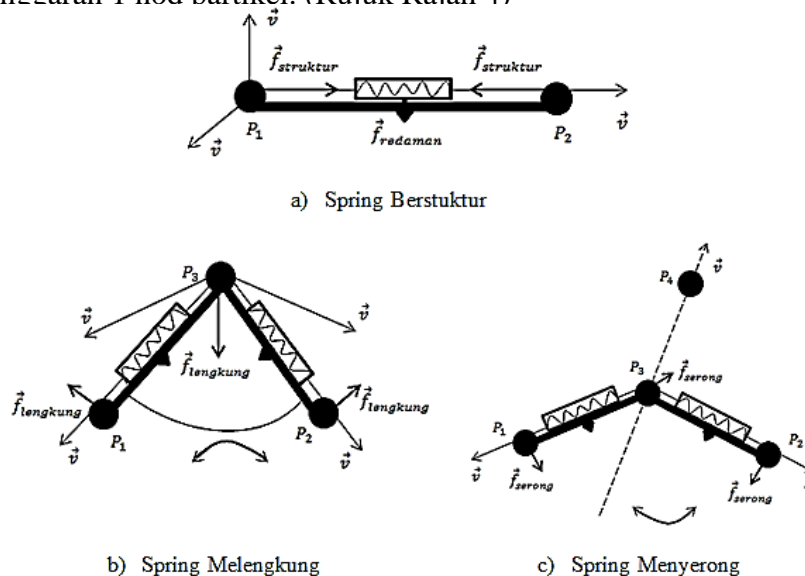
- a. Partikel ($C_1, \dots, C_{S+S_{coll}}, P_1, \dots, P_N$)
11. Gelung berakhir
 12. Gelung bermula
 - a. Jika jarak partikel $p_i < \text{jarak } p_1 - p_2$
 - b. Jika $(|s| \geq r)$
 - c. $x_i \leftarrow c$
 - d. Semua partikel i lakukan
 - e. Jika $(|s| \leq r)$
 - f. Pembaikan halaju pergerakan $v_i \leftarrow v_i$ partikel p_i
 - g. $v_i \leftarrow (p_i - (\delta d)) + a_{i+1} * \Delta t$
 - h. $x_i \leftarrow p_i$
 - i. tamat
 13. Gelung berakhir
 14. Kemaskini Kedudukan Partikel (v_1, \dots, v_n)
 15. Gelung berakhir

RAJAH 3. Algoritma VcCPBD

Langkah 1: Pemeriksaan perlanggaran bermula: nod partikel $p_i(x, y, z)$ dan $p_{i+1}(x, y, z)$, yang mana $i = 1, 2, 3 \dots + i$. Dua nod partikel p_1 dan p_2 yang dihubungkan oleh spring dengan nilai $k = 0$. $p_i = \{p_1 \in p_i \mid k(p_1, p_2) < d(p_1 - p_2)\}$, dengan $p_{i+1} \in p_i$.

Langkah 2: Pemeriksaan jarak c nod partikel. Algoritma ini penting bagi mengetahui setiap pergerakan nod partikel yang bergerak dapat dikawal dan ditetapkan kedudukannya. Perlanggaran hanya dikesan oleh kekotak sekiranya nod partikel yang berada dalam nod anak mengalami perlanggaran. Pembaikan kedudukan titik tengah nod partikel dalam kekotak diproses sebelum pembaikan pergerakan halaju nod partikel diproses.

Langkah 3: Langkah bagi menyelesaikan pertembungan ini perlu dimulai dengan mengenalpasti perlanggaran yang berlaku antara nod partikel. Bagi menangani masalah ini, pengendalian nod partikel dimulai dengan mendapatkan nilai jarak ($|s| \leq r$). Apabila perlanggaran antara nod partikel di kesan, penggunaan pembaikan halaju pergerakan antara nod-nod partikel $v_i \leftarrow (p_i - (\delta d)) + a_{i+1} * \Delta t$ diproses bagi membaiki dan memulih semula nod partikel kepada keadaan 1 sempadan perlanggaran 1 nod partikel. (Rujuk Rajah 4)



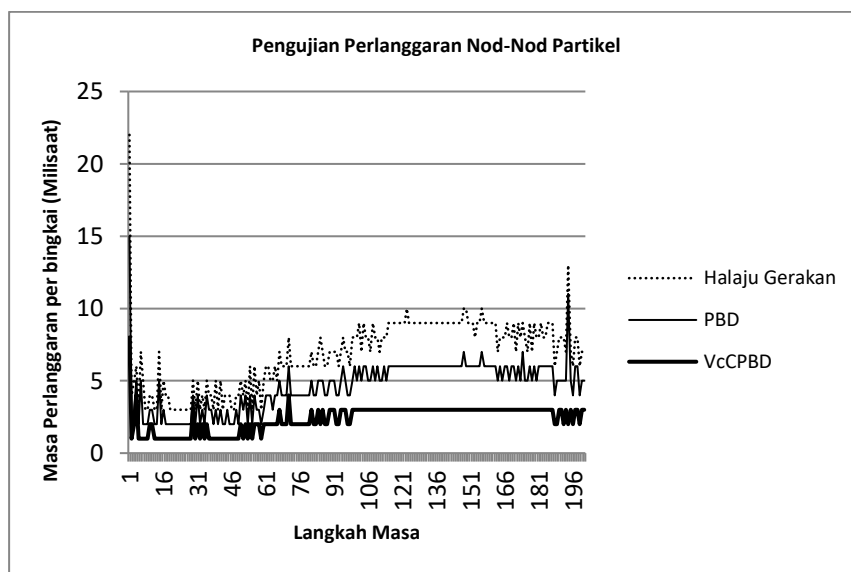
RAJAH 4. Kedudukan dan pergerakan nod partikel. Pengawalan kestabilan antara nod partikel dikawal oleh daya redaman $\vec{f}_{redaman}$ yang mempengaruhi halaju pergerakan nod partikel pada ketiga-tiga jenis spring

Langkah 4: Kedudukan nod partikel dikemaskini sepanjang larian simulasi melalui persamaan $p_{i+1} = p_i + \overrightarrow{v}\Delta t$ dengan $i = 1,2,3 \dots + i$. Pengemaskini dimulai setelah semua langkah dilaksana. Sepanjang proses pengemaskinian, daya luaran perlu bagi mengubah kedudukan nod partikel objek kain supaya keadaan objek tidak berada dalam keadaan statik. Langkah seterusnya ialah mengira halaju nod partikel berdasarkan kedudukan awal dan kedudukan semasa yang dijana oleh daya dalaman spring. Selepas pecutan dan halaju dikira, kedudukan semasa nod partikel yang baru diperolehi berdasarkan pada kiraan langkah dari semasa.

PENGUJIAN DAN PERBINCANGAN

Kajian ini mengguna bahasa pengaturcaraan C# dan pustaka XNA 3.1 (*DirectX 9.0c*) dengan dibantu oleh processor *Intel Core 2 Duo 1.5Ghz 4.00 GB DDR 2 Windows 8.1 Pro (2013) Microsoft Corporation* sebagai perisian utama. Semua kod algoritma dilari mengguna perisian *Microsoft Visual Studio Team System (SP1) 2008 .Net 3.5*. Pengujian ini diproses ke atas kod algoritma Halaju Gerakan dan kod algoritma PBD sebagai kaedah perbandingan terhadap teknik yang dihasil. Pemilihan kedua-dua teknik ini adalah bergantung kepada kegunaan dalam perisian masa kini bagi membantu dalam mencapai kecekapan perlanggaran yang baik.

Berdasar Rajah 5, teknik VcCPBD mencapai masa yang kurang bagi tindak balas perlanggaran berbanding dengan teknik PBD dan teknik Halaju Gerakan. Graf ini terdiri daripada peratusan bingkai dan masa untuk setiap perlanggaran per bingkai. Pengujian ini dilaksana bagi menguji prestasi ketiga-tiga teknik bergantung pada bilangan nod partikel yang sama dan tetap untuk setiap larian. Tahap kedalaman nod anak dalam proses pencarian perlanggaran juga tetap pada tahap aras 5. Graf juga menunjukkan proses tindak balas perlanggaran VcCPBD adalah lebih cepat dalam memperbaiki pergerakan antara nod partikel yang mengalami perlanggaran daripada teknik yang lain. Masa kecekapan perlanggaran yang dicapai oleh teknik VcCPBD ini tidak melebihi 5 milisaat perlanggaran pada setiap langkah masa. Selain daripada itu, purata perlanggaran teknik ini juga mencapai nilai lebih kecil sebanyak 1.018% berbanding teknik Halaju Gerakan 1.995% dan PBD 1.151%.



RAJAH 5. Masa pengujian perlanggaran antara teknik Halaju Gerakan, PBD dan VcCPBD

KOMPUTASI MASA PER NOD PARTIKEL

Berdasar Jadual 1, VcCPBD mempunyai peratusan komputasi masa yang rendah berbanding Halaju Gerakan dan PBD. Analisis mendapati, VcCPBD berjaya mencapai peratusan komputasi masa yang baik dengan mencapai 0.1973% dengan 1156 nod partikel pada kain asas. Manakala bagi semua jenis kain yang ada, peratusan kelajuan masa yang dicapai masing-masing tidak melebihi 0.2% berbanding teknik PBD dan Halaju Gerakan yang hampir melebihi 0.2% peratusan komputasinya. Berlainan pula dengan nilai peratusan yang diperoleh oleh objek kain yang mempunyai bilangan nod partikel yang lebih besar 2500 dan 10000 bilangan nod partikel. Secara keseluruhannya, peratusan bagi kedua-dua bilangan nod partikel ini rata-ratanya menghampiri dan ada yang melebihi 0.3% kelajuan.

JADUAL 1. Peratusan Komputasi Masa dalam mili saat bagi setiap langkah larian pembetulan kedudukan per nod partikel

1156 nod partikel	Halaju Gerakan (ms)		PBD (ms)		VcCPBD (ms)	
	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%
Kain Asas	2.290	0.1980%	2.325	0.2011%	2.281	0.1973%
<i>Cotton</i>	2.283	0.1975%	2.191	0.1895%	2.173	0.1879%
<i>Wool</i>	2.322	0.2009%	2.215	0.1916%	2.173	0.1879%
<i>Polyester</i>	2.350	0.2033%	2.316	0.2003%	2.193	0.1897%

2500 nod partikel	Halaju Gerakan (ms)		PBD (ms)		VcCPBD (ms)	
	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%
Kain Asas	5.370	0.2148%	5.310	0.2124%	5.245	0.2098%
<i>Cotton</i>	5.131	0.2052%	5.107	0.2042%	5.097	0.2039%
<i>Wool</i>	5.840	0.2336%	5.301	0.2120%	5.208	0.2083%
<i>Polyester</i>	5.585	0.2234%	5.900	0.2360%	5.396	0.2158%

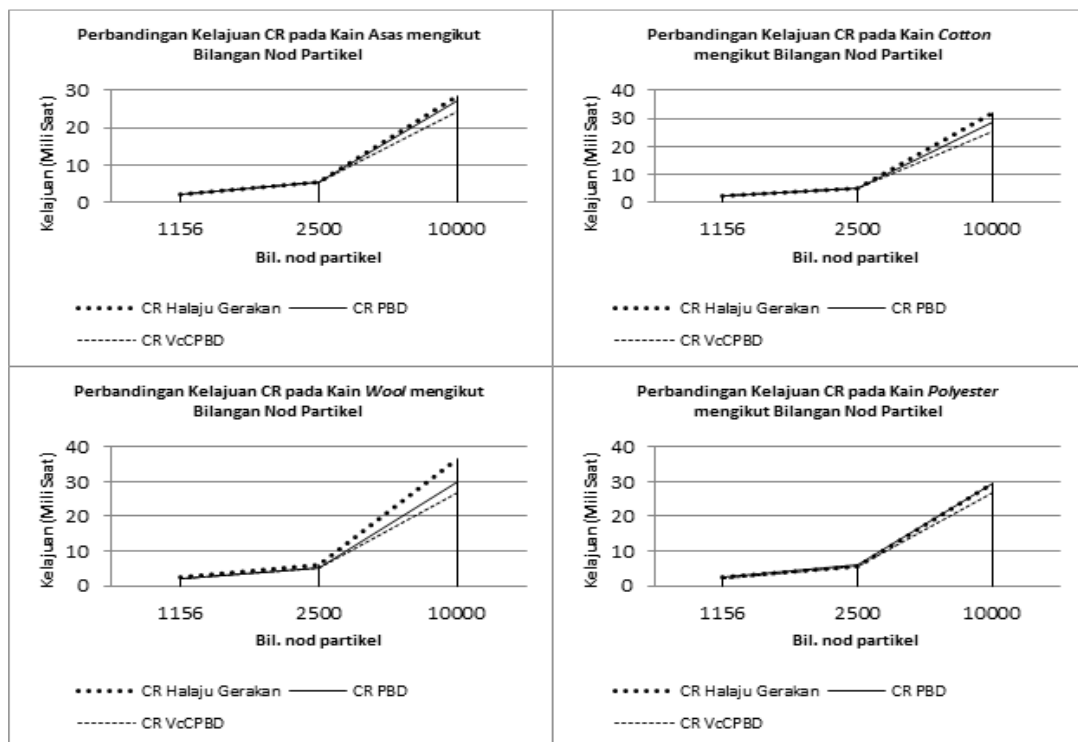
10000 nod partikel	Halaju Gerakan (ms)		PBD (ms)		VcCPBD (ms)	
	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%	Kelajuan (ms)	%
Kain Asas	28.331	0.2833%	27.337	0.2733%	24.232	0.2423%
<i>Cotton</i>	31.771	0.3177%	28.631	0.2863%	25.513	0.2551%
<i>Wool</i>	36.497	0.3649%	30.080	0.3008%	26.788	0.2678%
<i>Polyester</i>	29.516	0.2952%	29.589	0.2959%	26.723	0.2672%

$$\text{Peratusan Masa Per Nod Partikel (\%)} = \frac{\text{Masa Perlanggaran (ms)}}{\text{Bilangan Nod Partikel}} \times 100$$

$$\text{Peratusan Masa Per Nod Partikel (\%)} = \frac{2.290}{1156} \times 100$$

$$\therefore \text{Peratusan (\%)} \text{ Masa Halaju Gerakan} = 0.1980\%$$

Nilai peratusan dan kelajuan komputasi ketika ini dipengaruhi oleh faktor daya dalaman serta jisim yang diguna oleh objek kain itu sendiri. Setiap objek kain mempunyai jisim dan nilai daya dalaman yang berbeza yang perlu dilihat pada aspek keanjalan objek. Jadual 2 menyenarai beberapa senarai parameter yang diguna sebagai penanda aras pengujian. Analisis daripada jadual mendapati nilai kelajuan yang paling minimum dicapai oleh VcCPBD ialah 2.173 ms pada objek kain *cotton* dan *wool* bagi setiap 1000 kali larian dengan bilangan 1156 nod partikel. Manakala bagi teknik Halaju Gerakan dan PBD, nilai kelajuan yang paling minimum yang boleh dicapai ialah 2.283 ms dan 2.191 ms untuk kain *cotton*. Bagaimanapun, bagi nilai paling maksimum VcCPBD adalah 26.788 ms (*wool*) dan Halaju Gerakan 36.497 ms (*wool*) yang dimiliki oleh 10000 nod partikel. Bagi melihat perbezaan yang jelas, Rajah 6 memberi gambaran yang luas tentang perbezaan tahap kelajuan yang dicapai oleh setiap bilangan nod partikel. Melalui takaran graf yang diperolehi, VcCPBD kekal dengan tahap kelajuan yang baik berbanding PBD dengan perbezaan sebanyak 0.044 mili saat bagi setiap perlanggaran pada 1156 nod partikel objek kain asas. Setiap perbandingan berdasarkan pada bilangan nod partikel yang berbeza bagi VcCPBD adalah lebih baik tanpa mengira bilangan nod partikel dan jenis kain yang diuji. Sebanyak 3.105 mili saat perbezaan kelajuan yang dicapai untuk 10000 nod partikel kain asas di antara VcCPBD dengan PBD. Secara keseluruhannya walaupun penglibatan nod partikel adalah banyak, namun VcCPBD tetap mengambil masa kelajuan dengan nilai komputasi yang cekap daripada PBD dan Halaju Gerakan.



RAJAH 6. Graf perbandingan kelajuan tindak balas perlanggaran mengikut jenis kain dan bilangan nod partikel

JADUAL 2. Keputusan Pengujian Kelajuan Komputasi Masa Perlanggaran

Keputusan Pengujian Halaju Gerakan dengan 1000 kali larian simulasi					
Jenis	Nod	Langkah Masa (saat)	Jisim (g)	Daya Redaman	Kelajuan (ms)
Kain Asas	1156	0.06	1.0	0.800	2.29
	2500	0.06	1.0	0.800	5.37
Cotton	10000	0.06	1.0	0.800	28.331
	1156	0.05	2.1	0.810	2.283
	2500	0.05	2.1	0.810	5.131
Wool	10000	0.05	2.1	0.810	31.771
	1156	0.05	1.9	0.740	2.322
	2500	0.05	1.9	0.740	5.84
Polyester	10000	0.05	1.9	0.740	36.497
	1156	0.05	2.5	0.550	2.350
	2500	0.05	2.5	0.550	5.585
	10000	0.05	2.5	0.550	29.516

Keputusan Pengujian Teknik Berasaskan Kedudukan Dinamik (Position-Based Dynamics PBD) dengan 1000 kali larian simulasi					
Jenis	Nod	Langkah Masa (saat)	Jisim (g)	Daya Redaman	Kelajuan (ms)
Kain Asas	1156	0.06	1.0	0.800	2.325
	2500	0.06	1.0	0.800	5.31
	10000	0.06	1.0	0.800	27.337
Cotton	1156	0.05	2.1	0.810	2.191
	2500	0.05	2.1	0.810	5.107
Wool	10000	0.05	2.1	0.810	28.631
	1156	0.05	1.9	0.740	2.215
	2500	0.05	1.9	0.740	5.301
Polyester	10000	0.05	1.9	0.740	30.08
	1156	0.05	2.5	0.550	2.316
	2500	0.05	2.5	0.550	5.9
	10000	0.05	2.5	0.550	29.589

Keputusan Pengujian Teknik Pembetulan Halaju Berasaskan Kedudukan Dinamik (VcCPBD) dengan 1000 kali larian simulasi					
Jenis	Nod	Langkah Masa (saat)	Jisim (g)	Daya Redaman	Kelajuan (ms)
Kain Asas	1156	0.06	1.0	0.800	2.281
	2500	0.06	1.0	0.800	5.245
Cotton	10000	0.06	1.0	0.800	24.232
	1156	0.05	2.1	0.810	2.173
Wool	2500	0.05	2.1	0.810	5.097
	10000	0.05	2.1	0.810	25.513
	1156	0.05	1.9	0.740	2.173
Polyester	2500	0.05	1.9	0.740	5.208
	10000	0.05	1.9	0.740	26.788
	1156	0.05	2.5	0.550	2.193
	2500	0.05	2.5	0.550	5.396
	10000	0.05	2.5	0.550	26.723

KESIMPULAN

Kajian berjaya menghasilkan algoritma VcCPBD yang bertujuan mengoptimum komputasi pengesanan perlanggaran dalam simulasi kain. Algoritma yang dibina berfungsi mengawal dan menstabil nod partikel yang berlanggar. Algoritma ini boleh diguna dalam domain yang berlainan khususnya dalam objek boleh ubah bentuk berasaskan nod partikel yang memiliki pergerakan yang kompleks dan bergantung pada simulasi yang dibina.

RUJUKAN

- Aono, M., Denti, P., Breen, D. E., & Wozny, M. J. 1996. Fitting a Woven Cloth Model to a Curved Surface: Dart Insertion. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(5): 60-70.
- Arnab, S. & Raja, V. 2008. A Deformable Surface Model with Volume Preserving Springs. *Proceedings of the 5th International Conference on Articulated Motion and Deformable Objects*. New York: Springer.
- Bender, J., Erleben, K., & Trinkle, J. 2014. Interactive Simulation of Rigid Body Dynamics in Computer Graphics. *Computer Graphics Forum*, 33(1):246-270.
- Boxerman, E. 2003. Speeding up Cloth Simulation. PhD thesis, University of British Columbia.
- Chang, J. T., Jin, J., & Yu, Y. 2002. A Practical Model for Hair Mutual Interactions. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. San Antonio, Texas, USA: Eurographics Association.
- Courtecuisse, H., Jung, H., Allard, J., Duriez, C., Lee, D. Y., & Cotin, S. 2010. GPU-based Real-Time Soft Tissue Deformation with Cutting and Haptic Feedback. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 103(2):159-168.
- Deul, C., & Bender, J. 2013. Physically-Based Character Skinning. *VRIPHYS 13:10th Workshop on Virtual Reality Interactions and Physical Simulations*, 27-29 November, Lille, France.
- Dietrich, A., Wimböck, T., Täubig, H., Albu-Schäffer, A., & Hirzinger, G. 2011. Extensions to Reactive Self-Collision Avoidance for Torque and Position Controlled Humanoids. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 9-13 May 2011, Shanghai, China: 3455-3462
- Fuhrmann, A., Groß, C., Lucas, V., & Weber, A. 2003. Interactive-free Dressing of Virtual Humans. *Computers & Graphics*, 27(1):71-82.
- Gibson, S. F. & Mirtich, B. 1997. A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics. *Technical Report MERL TR-97-19*. Cambridge: Mitsubishi Electric Research Laboratories.
- House, D. H. & Breen, D. E. 2000. *Cloth Modeling and Animation*. Natick, MA: A.K. Peters/CRC Press.Ltd.
- Kim, T. Y., Chentanez, N., & Müller-Fischer, M. 2012. Long Range Attachments - A Method to Simulate Inextensible Clothing in Computer Games. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. San Diego, California: Eurographics Association.
- Macklin, M. & Müller, M. 2013. Position based fluids. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(4):104.
- Malone, H. R., Syed, O. N., Downes, M. S., D'Ambrosio, A. L., Quest, D. O., & Kaiser, M. G. 2010. Simulation in Neurosurgery: A Review of Computer-Based Simulation Environments and Their Surgical Applications. *Neurosurgery*, 67(4):1105-1116.
- Müller, M., Kim, T. Y., & Chentanez, N. 2012. Fast Simulation of Inextensible Hair and Fur. *VRIPHYS 12: 9th Workshop on Virtual Reality Interactions and Physical Simulations, Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*,. January 2012, Darmstadt, Germany.
- Omar, F. S. & Haron, H. 2013. Heuristic Modeling of Deformable Object using Node-based Structure with Mass-spring System. *International Journal of Interactive Digital Media*, 1(2):2289-4101.
- Petrovic, L., Henne, M., & Anderson, J. 2005. Volumetric Methods for Simulation and Rendering of Hair. *Pixar Animation Studios*, 2(4):1-6.

Zheng, C., & James D. L. 2012. Energy-Based Selfcollision Culling for Arbitrary Mesh Deformations.
ACM Transactions on Graphics (TOG), 31(4):1-12.

Nur Saadah Mohd Shapri
Riza Sulaiman
Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
nursaadah5@gmail.com,
riza@ukm.edu.my

Abdullah Bade
Fakulti Sains dan Sumber Alam,
Universiti Malaysia Sabah,
abb@ums.edu.my

Received: 10 November 2016
Accepted: 10 January 2017