

---

# Dynamic tumor tracking using the Elekta Agility MLC

Martin F. Fast, Simeon Nill, James L. Bedford, Uwe Oelfke

*Joint Department of Physics, The Institute of Cancer Research and The Royal Marsden NHS Foundation Trust, London SM2 5NG, United Kingdom; Medical Physics 41, 111719 (2014); doi: 10.1118/1.4899175*

---

Norbert Paczkowski

Journal Club XII 2014r



MARIA  
SKŁODOWSKA  
-CURIE  
MEMORIAL  
CANCER CENTER





Cel:

Ocena możliwości kolimatora wielolistkowego (MLC) Elekta Agility dla technik dynamicznych pozwalających na śledzenie guza w czasie rzeczywistym.

## Materiały i metody



- W celu wykonania testów użyto akceleratora firmy Elekta z najnowszym kolimatorem wielolistkowym (MLC) Agility;
- Wykorzystano stworzony w tym celu niekliniczny system kontroli dynamicznego śledzenia targetu w czasie rzeczywistym (real-time);
- Użyto specjalnej platformy ruchowej (motion platform) w celu uzyskania sinusoidalnej trajektorii ruchu celu (targetu);
- Jako cel posłużył metalowy marker o średnicy 5mm;
- Zastosowano MV portal imager XRD 1642 w celu pomiaru latencji systemu MLC i geometrycznych dokładności;

# Materiały i metody



- Dzięki nowemu oprogramowaniu i interfejsowi w kolimatorze Agility MLC możliwe jest zaprojektowanie trajektorii ruchu dla indywidualnych listków (leaf-only motion), DLG (Dynamic leaf guides), szczęk Y (Y colimator jaws) opartej na trajektorii ruchu targetu;
- Techniczne parametry kolimatora AgilityMLC:

maksymalne pole:	40x40cm
szerokość listka :	5mm
maksymalna prędkość listka	35mm/s
maksymalna prędkość (leaf guide)	30mm/s
maksymalna prędkość szczęk Y	90mm/s

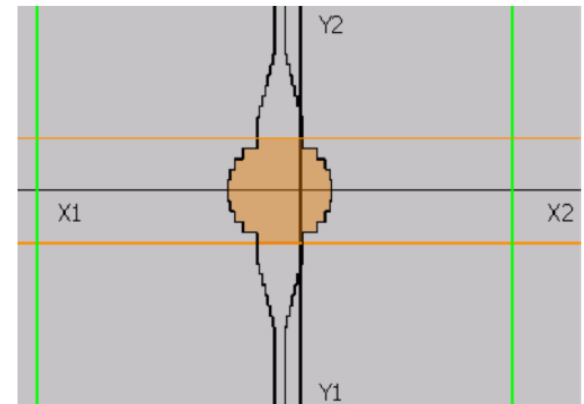
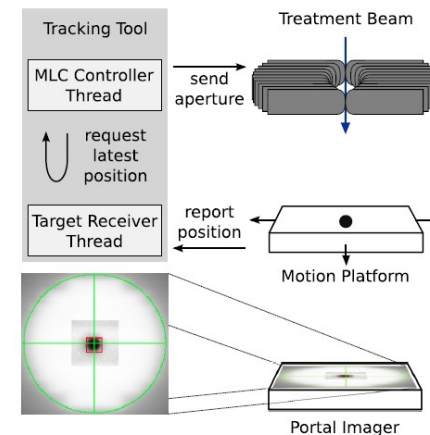


FIG. 2. Schematic representation of a typical circular tracking aperture. The “rad-on” area and Y jaws are shown in orange, the dynamic leaf guides in green, and the leaves in black (IEC 61217).

## Materiały i metody



- Z użyciem oprogramowania stworzono specjalną aperturę MLC, której użyto do śledzenia targetu; każda kolejna apertura była obliczana w oparciu o statyczną aperturę z planu leczenia i najpóźniej zebranej informacji o pozycji targetu w beams-eye-view;
- Platformę ruchową zaprogramowano w taki sposób aby poruszała się ruchem sinusoidalnym w jednym kierunku, gdzie okres  $T$  i amplituda  $S$  były zmieniane w celu osiągnięcia maksymalnej prędkości targetu; Platforma ruchowa podawała aktualną pozycję targetu z powrotem do oprogramowania śledzącego jego ruch ze stałą częstotliwością aktualizacji 20,30, 40Hz i opóźnieniem 1ms.
- Dzięki okrągłemu metalowemu znacznikowi o średnicy 5mm umieszczonemu na platformie ruchowej odczytywano położenia targetu na portalu elektronicznym.
- Wszystkie pomiary wykonywane były dla doze rate 600MU/min z użyciem okrągłego pola o średnicy 5cm.





**TABLE II.** Motion trajectories used in this study [cf. Eq. (1)]. The gantry and the collimator angles were set to  $0^\circ$  resulting in the alignment of  $s_x$  with the left–right direction and of  $s_y$  with the superior–inferior direction.

Period (ms)	$\hat{s}_x$ (mm)	$\hat{s}_y$ (mm)	$v_{\max}$ (mm/s)	Tracking mode
5000	10	—	12.6	leaf-only
5000	20	—	25.1	leaf-only
3500	16	—	28.7	leaf-only
3500	17	—	30.5	leaf-only
5000	—	10	12.6	jaw + leaf
4800	—	15	19.6	jaw + leaf
5000	—	20	25.1	jaw + leaf
5000	31.2	—	39.2	DLG + leaf
4000	31.2	—	49.0	DLG + leaf
4000	37.4	—	58.8	DLG + leaf

## Materiały i metody



Latencja systemu MLC (średnia latencja zawierała latencję urządzenia raportującego położenie targeu oraz latencja doprecyzowania MLC do targetu) i geometryczna dokładność śledzenia uzyskiwane były na podstawie sekwencji zdjęć portalowych MV uzyskiwanych podczas naświetlania następujących schematów :ruchu samych listków, ruchu listków i szczęk, ruchu DLG i listków.

W badanym przypadku latencja to różnica pomiędzy czasem nowej pozycji targetu a czasem doprecyzowania MLC do tej pozycji:

$$T = \Delta T_{\text{phan}} + \langle \Delta t_{\text{target}} \rangle + \langle T_{\text{MLC}} \rangle$$

$\Delta T_{\text{phan}}$  - phantom device latency ~ 1ms

$\langle \Delta t_{\text{target}} \rangle$  - czas na pozycjonowanie targetu wykorzystany przez kontroler MLC

$\langle T_{\text{MLC}} \rangle$  - różnica czasu pomiędzy żądaniem nowej pozycji MLC a jej osiągnięciem

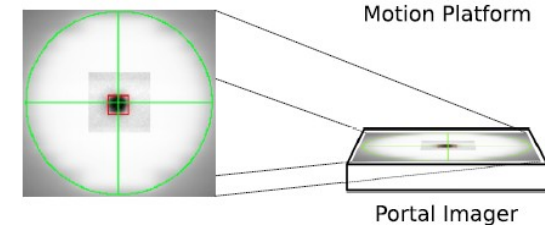
Wartości  $\langle T_{\text{MLC}} \rangle$  i  $\langle \Delta t_{\text{target}} \rangle$  są uśrednione dla wielu cykli regulacji

## Materiały i metody



Geometryczna dokładność (tracking error) wyrażona jest poprzez średni błąd kwadratowy (root mean squared error) RMSE pomiędzy trajektorią fantomu  $S^{\text{phan}} = (S_x, S_y, 0)^T$  a środkiem masy trajektorii w tym przypadku okrągłego pola napromieniania  $S^{\text{field}}$ .

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S^{\text{phan},i} - S^{\text{field},i})^2}$$



*Gdzie  $N$  oznacza liczbę danych punkowych po sześcienniej interpolacji do 1ms rozdzielczości, Aby dopasować latencję MLC, podzielono uzyskany pomiar na  $k \in \mathbb{N}_{>0}$  przylegających bloków, każdy równy w długości breathing period  $T$ . Pozwoliło to na policzenie odchylenia standardowego, błędu dla wszystkich pomiarów.*



## Materiały i metody



Po określeniu latencji systemu dla MLC wprowadzono dodatkowo tzw. motion predictor w celu jej skompensowania. Ten „przewidywacz ruchu” pozycji targetu wyznaczano w oparciu o algorytm liniowej regresji, który linowo odwzorowuje rzeczywistą przewidywaną pozycję celu.

# Wyniki



Wartości latencji systemu reprezentowane są w tym badaniu przez różnice przesunięcia w fazie pomiędzy dwoma sinusoidalnymi krzywymi dopasowanymi do trajektorii centrum apertury MLC i targetu.

Zmierzona trajektoria nie jest idealną sinusoidą. Wyniki opóźnienia pomiędzy tymi dwoma krzywymi nie są stałe ale podlegają rozkładowi jak pokazano na histogramie dla ruchu samych listków.

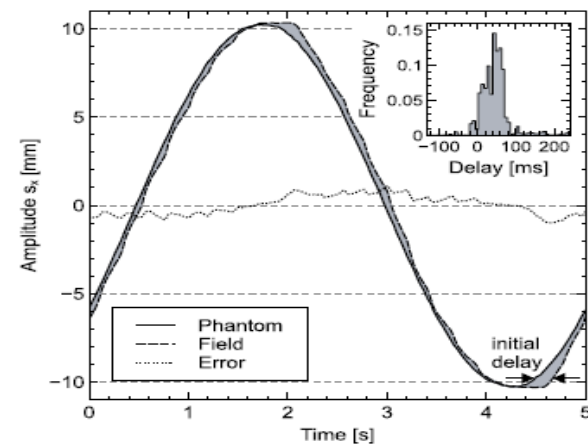


Fig. 3. Sample phantom and MV field center-of-mass trajectory for a leaf-only motion (5 s breathing period; 10 mm amplitude; 30 Hz update rate), as observed on the portal imager. Nested histogram: distribution of time differences ("delays") between the two curves evaluated for a 2.5 s interval. The phase shift between the two fitted sinusoidal curves (not shown) corresponds to the system latency of the MLC.

## Wyniki

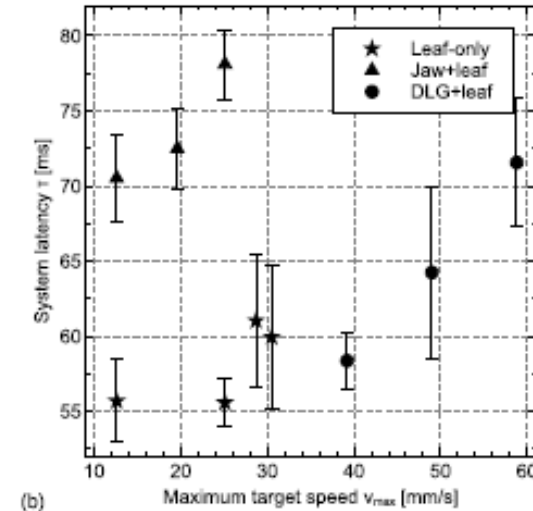
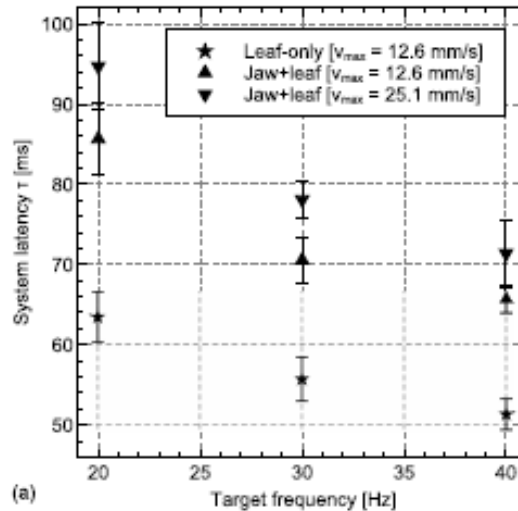


Pomiary z użyciem portalu wskazują na jasną zależność latencji systemu od częstotliwości pozycjonowania targetu.

Latencja systemu częstotliwości pozycjonowania targetu przy 30Hz wynosi 56-61ms dla samych listków ( $v \leq 31$ mm/s), 71-78ms dla szczęk + ruch listków ( $v \leq 25$ mm/s) i 58-72ms dla DLG+ruch listków ( $v \leq 59$ mm/s);

Dokładność śledzenia pokazuje prostą zależność od częstotliwości pozycjonowania i maksymalnej prędkości targetu;

Dla samych listków RMSE znajdował się pomiędzy 0.6-1.5mm w zależności od maksymalnej prędkości targetu. Dla szczęk z ruchem listków RMSE wynosił 0.7-1.5mm, natomiast dla DLG+leaf RMSE wyniósł 1.9-3.4mm.



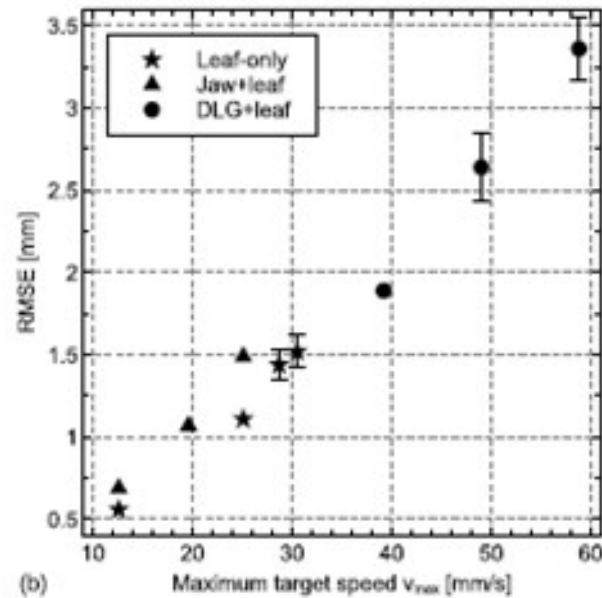
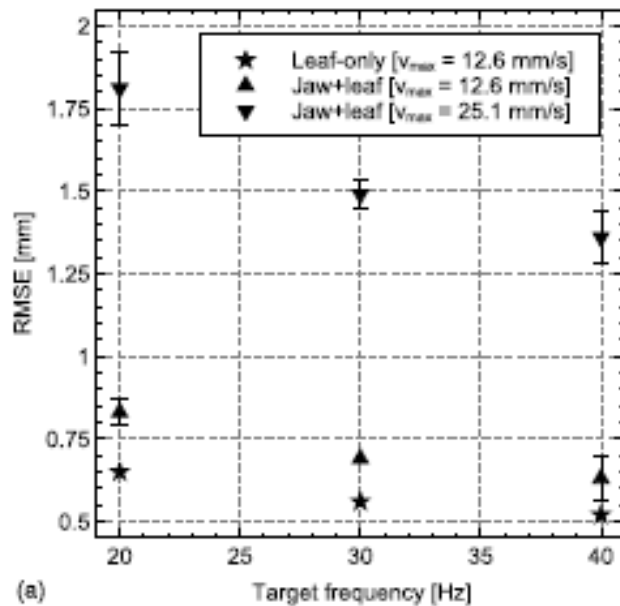
Wykres a) przedstawia zależność latencji systemu od częstotliwości aktualizacji pozycji targetu; częstotliwość była zmieniana skokowo na 20, 30, 40Hz co odpowiada średnim czasom pozycji targetu odpowiednio 25, 16.67, 12.5ms.

Wykres b) przedstawia zależność latencji od maksymalnej prędkości targetu.



Obliczono wartości  $\langle \tau_{MLC} \rangle$  dla ruchu samych listków (37-38ms); powolnego ruchu szczęk z ruchem listków (52-60ms); szybkiego ruchu szczęk z ruchem listków (58-69ms).  
Dla ruchu DLG +ruch listków zasięg  $\langle \tau_{MLC} \rangle$  wynosi 41-54ms w zależności od prędkości targetu.  
Zauważono że, dla szczęk +listki i DLG + ruch listków latencja rośnie liniowo z prędkością.  
Dla samych listków latencja była stała dla prędkości maksymalnej poniżej 25mm/s.

# Wyniki



Wykres a) przedstawia zależność RMSE od częstotliwości targetu jako letancji.

Wykres b) przedstawia zależność RMSE od maksymalnej prędkości targetu.

Wraz ze wzrostem maksymalnej prędkości liniowo wzrasta RMSE. Największy przyczynek do RMSE znajdował się w punktach czasowych, w których prędkość maksymalna była największa.

## Wyniki



Po zastosowaniu motion predictor latencja systemu MLC zmniejszyła się do ok -9 ms dla ruchu samych listków, ok 4ms dla szczęk + listki ( $v_{\max} = 12.6\text{mm/s}$ ) i ok 2ms dla DLG + listki  $v_{\max} = 58.8\text{mm/s}$ . Ujemne wartości wskazują na przeszacowania motion predictor.



1. Dokładność latencji MLC kolimatora Agility zmienia się pomiędzy 37 a 69 ms dla sinusoidalnego ruchu i zależy od ustawienia modu śledzenia oraz warunków ruchu.
2. Latencja MLC używanego w testach kolimatora jest porównywalna z latencją dla kolimatora Varian Millennium MLC (52ms) i znacząco niższa w stosunku do kolimatora Siemens 160MLC (500ms).
3. Submilimetrowe dokładności śledzenia są osiągalne bez przewidywacza ruchu (motion predictor) dla realistycznych prędkości targetu.
4. Niewielkie różnice pomiędzy ruchem samych listków, szczęk z listkami oraz DLG z listkami w stosunku do uzyskanej latencji mogą być spowodowane różnym zachowaniem akceleratora.
5. Wykorzystanie wielolistkowego kolimatora MLC w celu śledzenia guzów umiejscowionych w narządach z dużą ruchomością jest obiecującą techniką leczenia.





Dziękuję za uwagę