

Wspomaganie diagnostyki przewodów pokarmowych w endoskopii bezprzewodowej

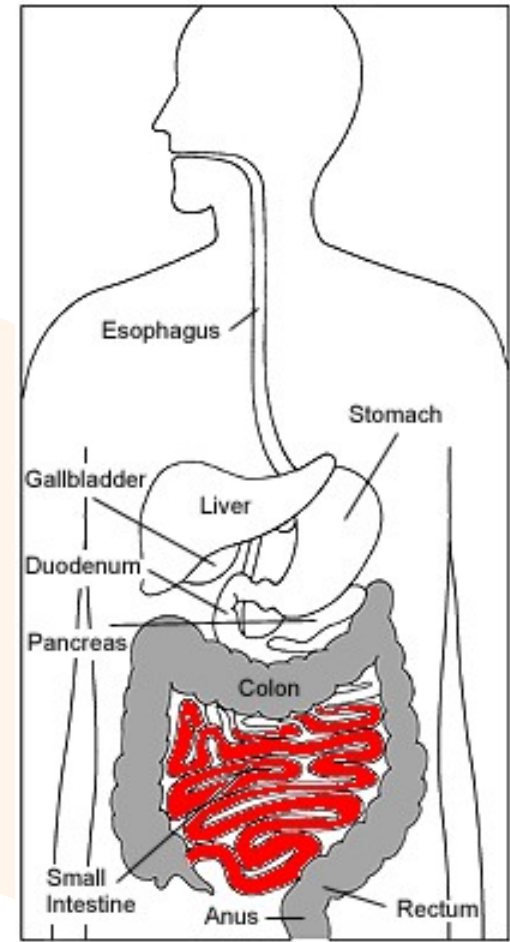
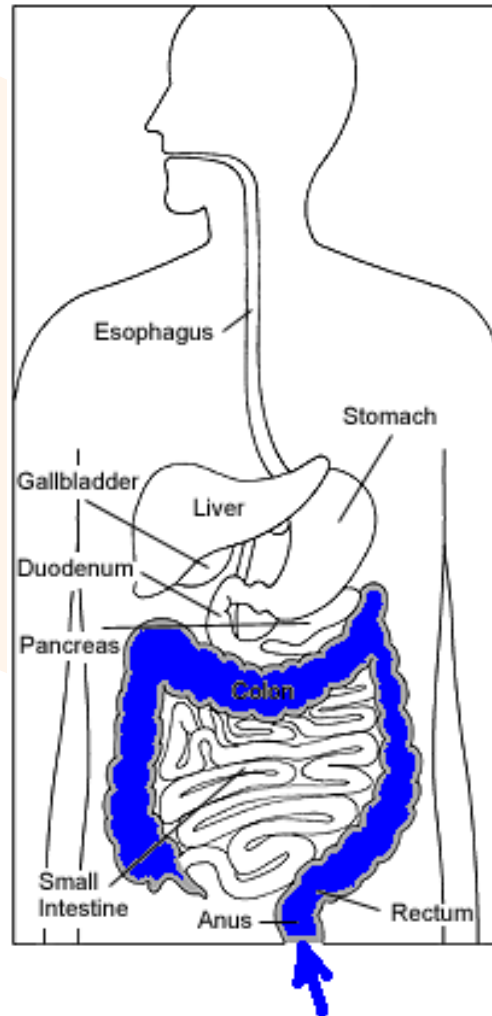
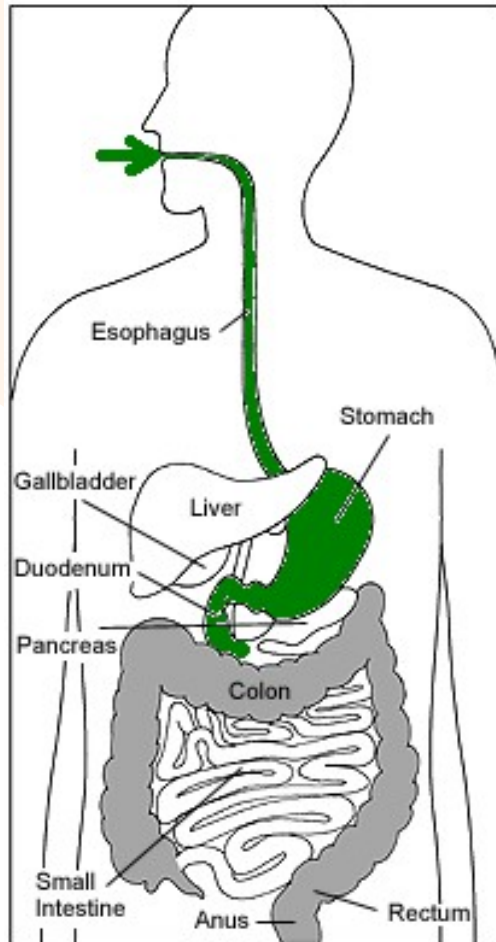
Piotr M. Szczypiński

*Instytut Elektroniki Politechniki Łódzkiej, Łódź, Polska
VI Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki, 24 kwietnia 2006*

Plan prezentacji

- Czym jest endoskopia bezprzewodowa i dlaczego jest potrzebna
czyli co może pokazać kapsułka
- Źmudny proces interpretacja danych z endoskopu bezprzewodowego
czyli jak lekarz ogląda nudne filmy
- Idea systemu do wspomaganie analizy danych z endoskopu
czyli jak zrobić mapę powierzchni układu pokarmowego
- Przykładowe wyniki działania systemu

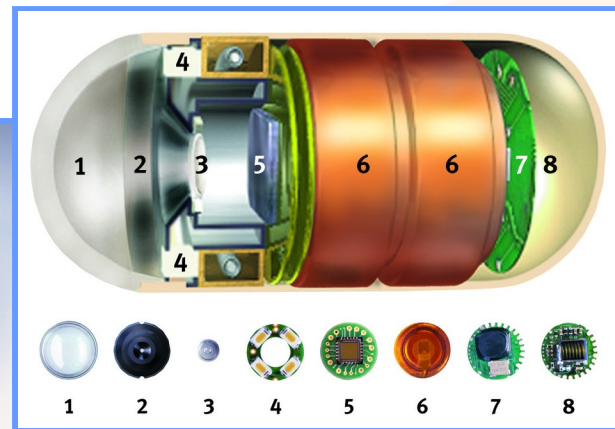
Gastroenteroskopia, Kolonoskopia a WCE



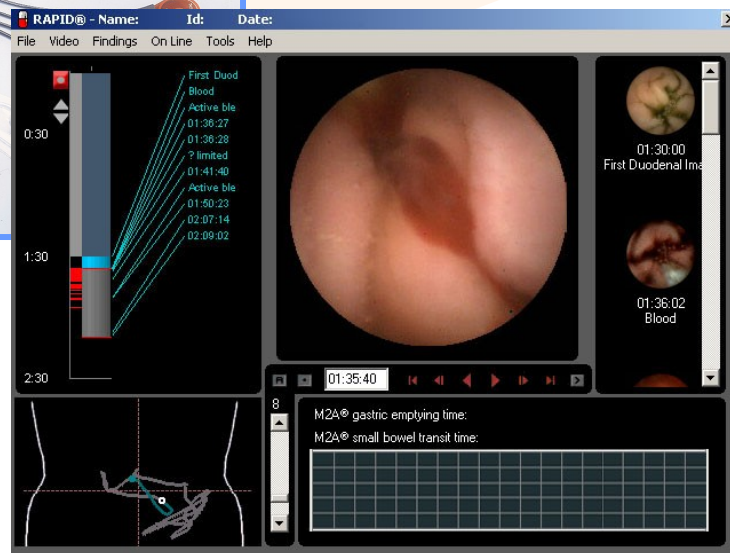
Trochę informacji technicznej o WCE

System WCE:

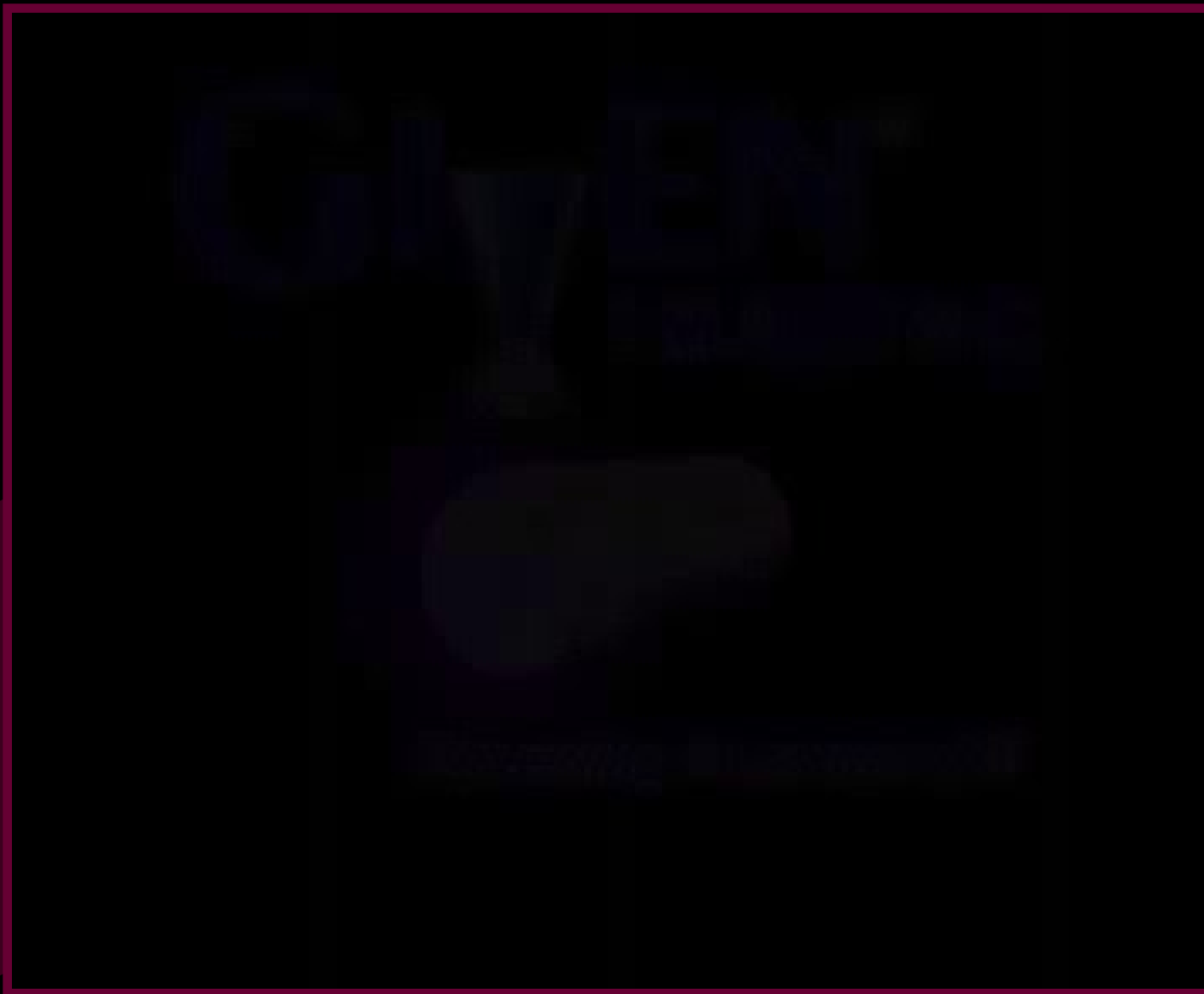
- Kapsułka:
 1. Przezroczysta kopuła
 2. Wspornik soczewki
 3. Soczewka
 4. Diody LED
 5. Przetwornik obrazu
 6. Bateria
 7. Nadajnik
 8. Antena
- Odbiornik-rejestrator
- Komputer z oprogramowaniem



11mm x 26mm
Ciężar: 3.7 g



Materiały promocyjne firmy GivenImaging





Nagranie wideo uzyskane od Dra Parupudi V. J. Srirama
Asian Institute of Gastroenterology, Hyderabad, India

Interpretacja danych

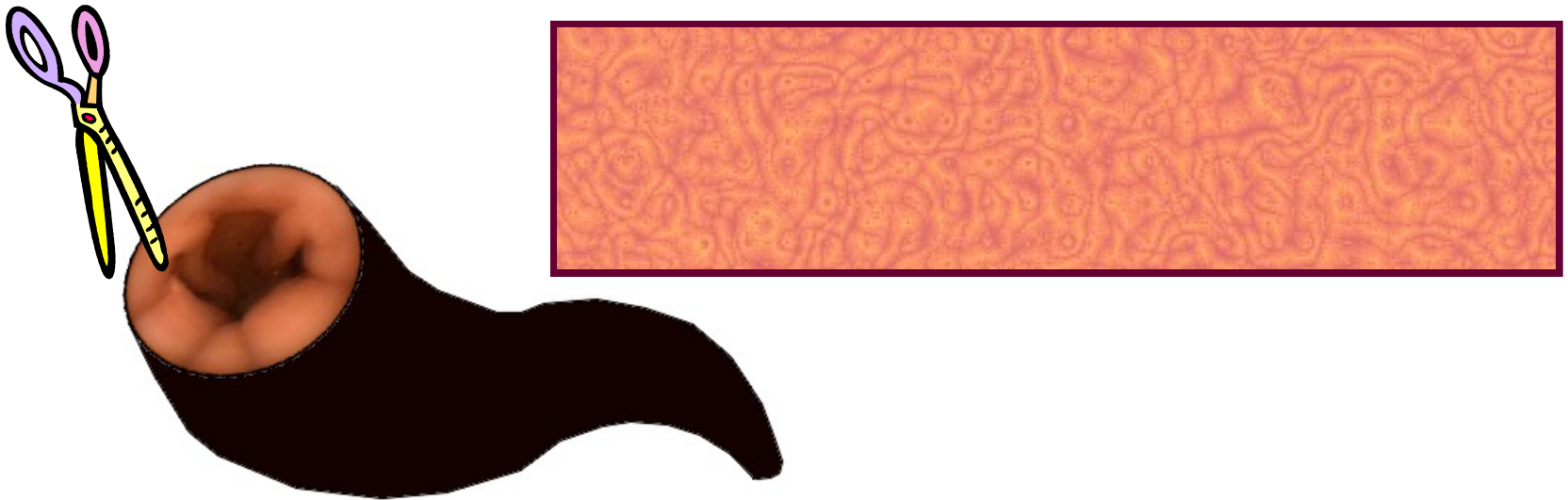
- WCE jest dziś jedyną techniką umożliwiającą wizualizację wnętrza jelita cienkiego
- Proces interpretacji wymaga analizy zapisu wideo i odszukania fragmentów z widocznymi schorzeniami układu pokarmowego (krwawienia, erozje, wrzody, polipy, zwężenia, itp.)
- Analiza zajmuje zazwyczaj ponad godzinę
- Proces ten wymaga dużego skupienia by nie przeoczyć drobnych schorzeń widocznych na pojedynczych obrazach zapisu wideo
- Problem lokalizacji kapsuły nie został do dziś rozwiązany. To gdzie znajduje się schorzenie w ciele pacjenta jest dziś kwestią zgadywania.

Jak uprościć pracę lekarza

Potrzebny jest system wspomagania, analizy danych wideo, by:

- Umożliwić łatwe i szybkie zapoznanie się z danymi w celu oszacowania ich:
 - kompletności (czy kapsuła przebyła drogę przez całość jelita cienkiego)
 - jakości danych (czy występowała treść pokarmowa lub krew przesłaniające widok z kamery)
- Umożliwić szybkie rozpoznanie specyficznych fragmentów układu pokarmowego.

Idea mapy układu pokarmowego



Idea mapy powierzchni układu pokarmowego

- Wbudowana w kapsułę jest kamera szerokokątna o kącie 140°
- Kształt kapsuły jest wydłużony i układa się ona wzdłuż ścian układu pokarmowego

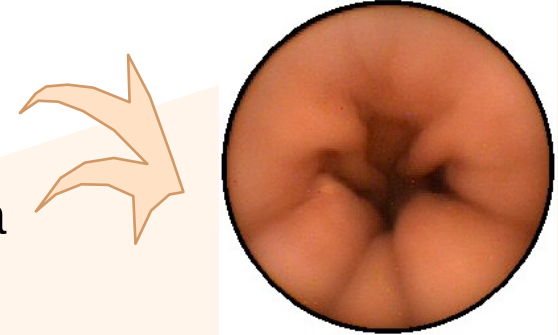
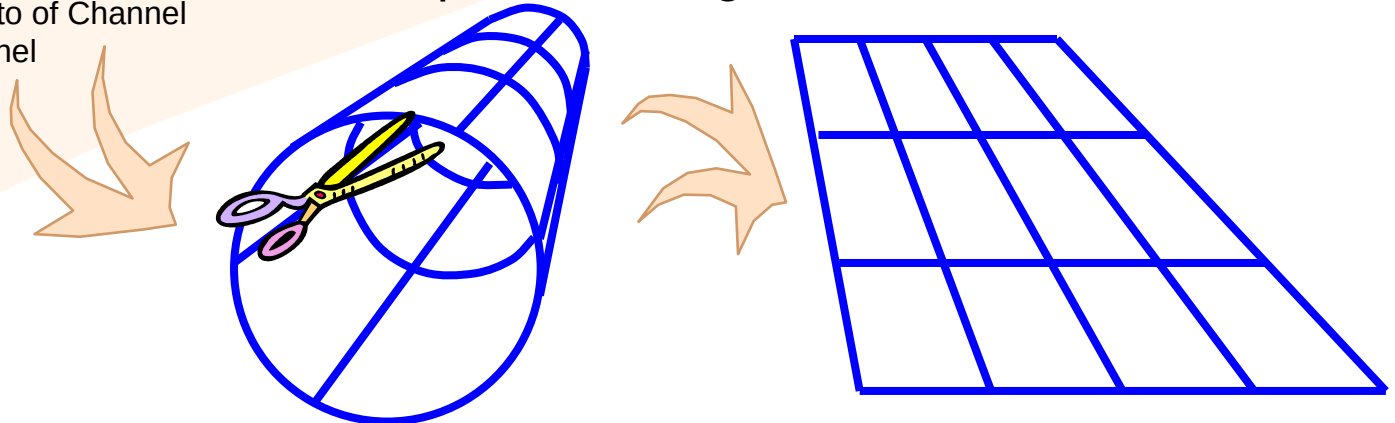
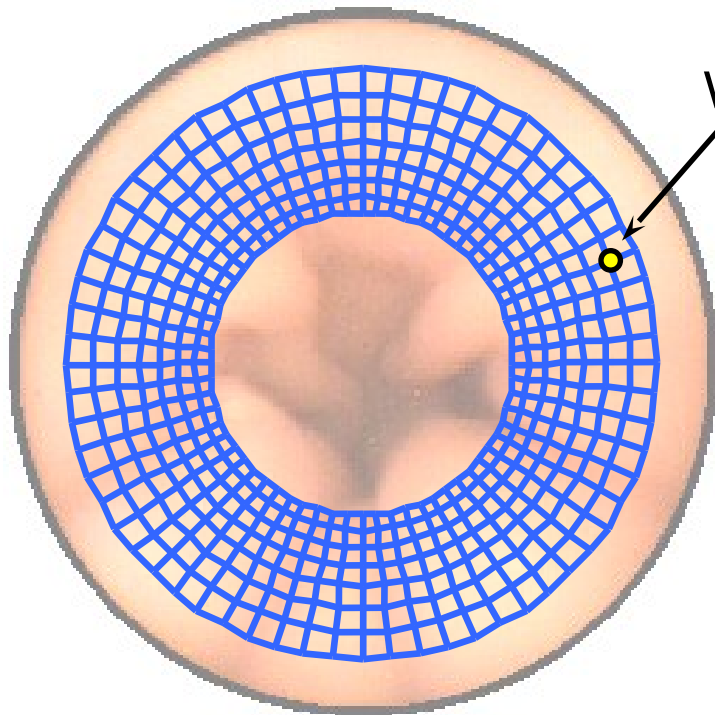


Photo of Channel Tunnel

- Tworzymy układ koncentrycznych i elastycznych pierścieni na powierzchni obrazie zdolnych do podążania za względnym ruchem ścian “tunelu” i “skanowania” ich powierzchni
- Jeśli “rozetniemy” i “rozwinniemy” uzyskaną powierzchnię, otrzymamy mapę ścian układu pokarmowego



Budowa MDP



Węzeł p, q

$$\begin{bmatrix} x_{p,q} \\ y_{p,q} \end{bmatrix}^T$$

$$\begin{bmatrix} x_{p,q} \\ y_{p,q} \end{bmatrix}^T = r w^{p-1} \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi q}{Q}\right) \\ \sin\left(\frac{2\pi q}{Q}\right) \end{bmatrix}^T$$

$$p = 1, 2, \dots, P$$

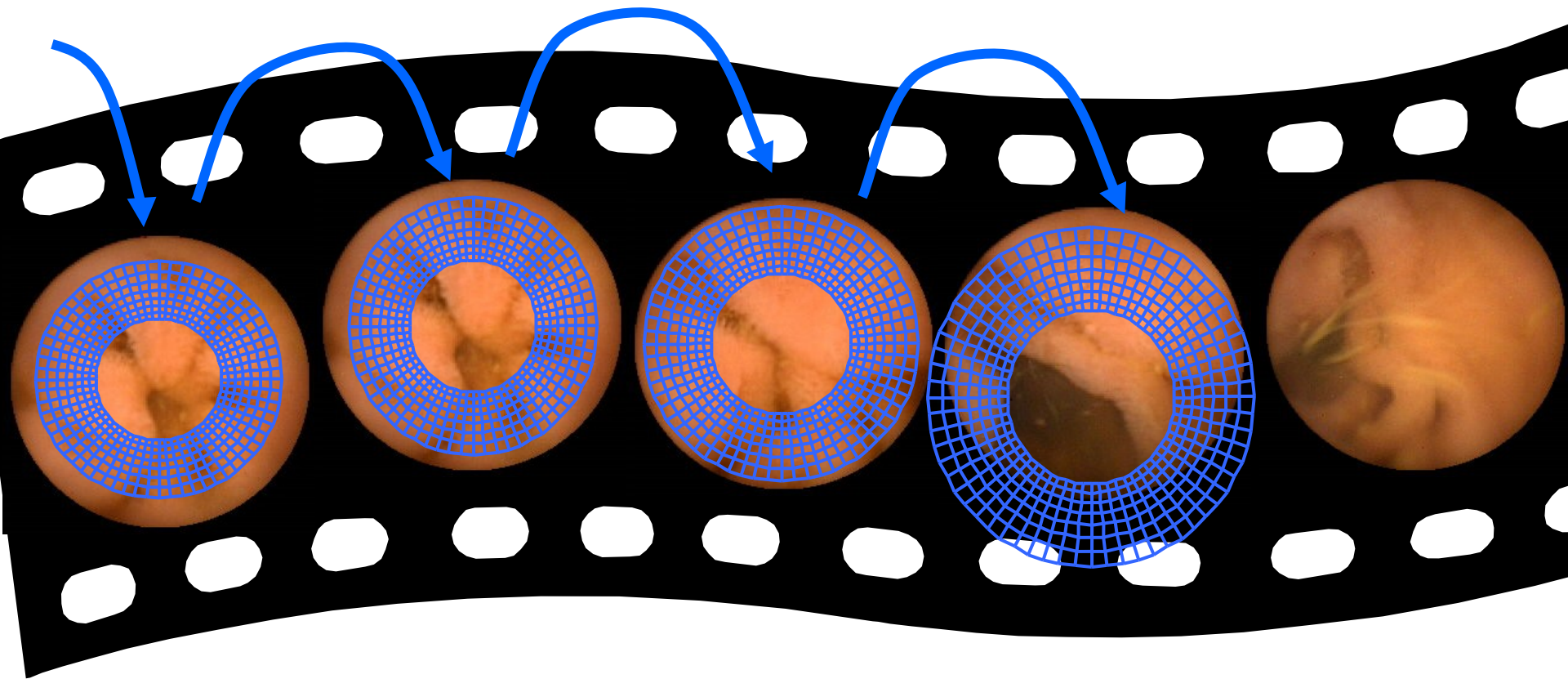
$$q = 1, 2, \dots, Q$$

r - promień wewnętrznego pierścienia

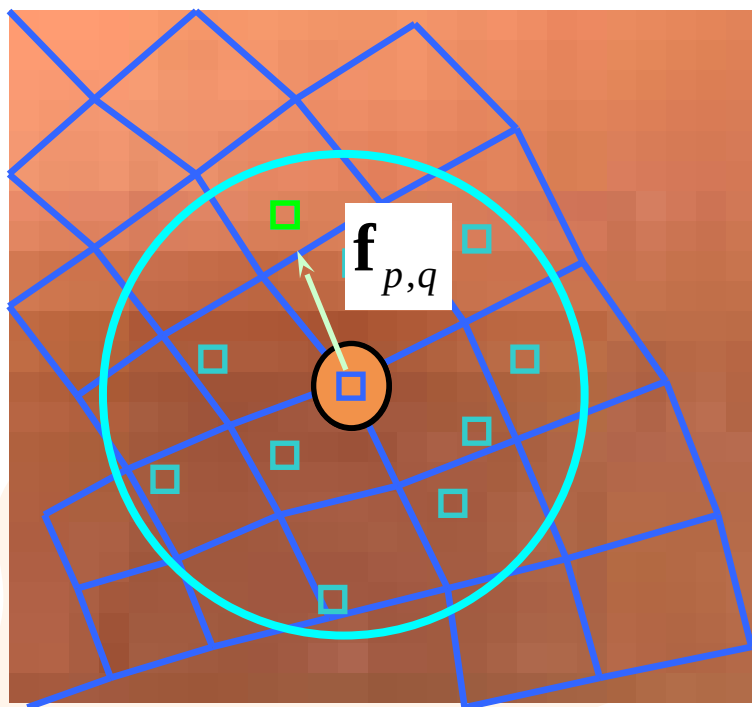
w - stosunek promieni sąsiednich pierścieni

- Współrzędne węzłów dane powyższym równaniem
- Połączenia między węzłami formują koncentryczne pierścienie
- Środek pierścieni znajduje się w środku obrazu
- Tak zdefiniowane położenia węzłów:
 - tworzą niezdeformowaną siatkę odniesienia do obliczeń naprężeń
 - inicjują MDP

Zasada działania MDP



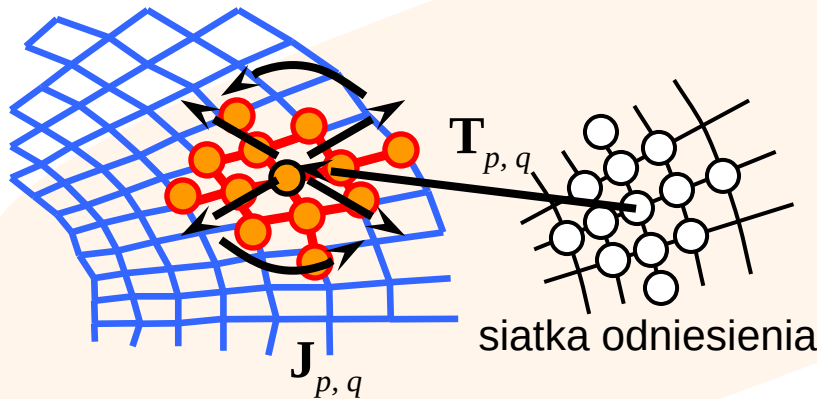
Wpływ obrazu na MDP



- Rozważmy węzeł p,q , któremu przyporządkowany jest wektor lokalnych cech w poprzednim obrazie sekwencji wideo
- Zdefiniujmy otoczenie punktu węzłowego w aktualnym obrazie
- Wylosujem zbiór punktów w tym otoczeniu uwzględniając dodatkowo punkt we współrzędnych węzła
- Węzeł jest “popychany” w kierunku punktu o cechach najbliższych tym jakie przyporządkowano węzłowi

Obliczanie naprężeń w MDP

- Zdefiniujemy sąsiedztwo N węzła p, q , składające się z węzłów połączonych z węzłem p, q za pomocą n lub mniejszej liczby połączeń
- Porównajmy położenie tego sąsiedztwa z odpowiednim sąsiedztwem w siatce odniesienia (niezdeformowanej)
- Przeciętna różnica w położeniu sąsiedztwa jest określana za pomocą wektora przesunięcia $\mathbf{T}_{p, q}$ i macierzy transformacji, Jakobianu $\mathbf{J}_{p, q}$ (skalowanie, obrót i zmiana proporcji w różnych kierunkach)



- $\mathbf{T}_{p, q}$ i $\mathbf{J}_{p, q}$ obliczane są tak aby uzyskać minimum różnicy kwadratów współrzędnych węzłów (rzeczywistych i wynikających z transformacji)
- Siła naprężenia oddziałująca na węzeł p, q obliczna jest:

$$\mathbf{g}_{p, q} = \mathbf{G}_{p, q} \begin{bmatrix} \underline{\underline{x}}_{p, q} \\ \underline{\underline{y}}_{p, q} \end{bmatrix}^T + \mathbf{T}_{p, q} - \begin{bmatrix} x_{p, q} & y_{p, q} \end{bmatrix}^T$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{x}}_{p, q} \\ \underline{\underline{y}}_{p, q} \end{bmatrix}^T - \text{współrzędne węzła w siatce odniesienia}$$

$$\mathbf{v}_{p, q} = \begin{bmatrix} x_{p, q} \\ y_{p, q} \end{bmatrix}^T - \text{rzeczywiste współrzędne węzła}$$

Dopasowanie Modelu

- Przemieszczenie węzła obliczane jest za pomocą równania ruchu:

$$\mu \frac{\partial^2 \mathbf{v}_{p,q}}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial \mathbf{v}_{p,q}}{\partial t} = \psi \mathbf{g}_{p,q} + \varphi \mathbf{f}_{p,q}$$

- Dyskretna forma równania ruchu:

$$\mathbf{v}_{p,q}^{(i+1)} = \frac{(\gamma + 2\mu - 1)\mathbf{v}_{p,q}^{(i)} - \mu\mathbf{v}_{p,q}^{(i-1)} + \psi\mathbf{f}_{p,q} + \varphi\mathbf{g}_{p,q}}{\mu + \gamma}$$

μ - parametr inercji

γ - parametr lepkości środowiska

φ - parametr wpływu obrazu

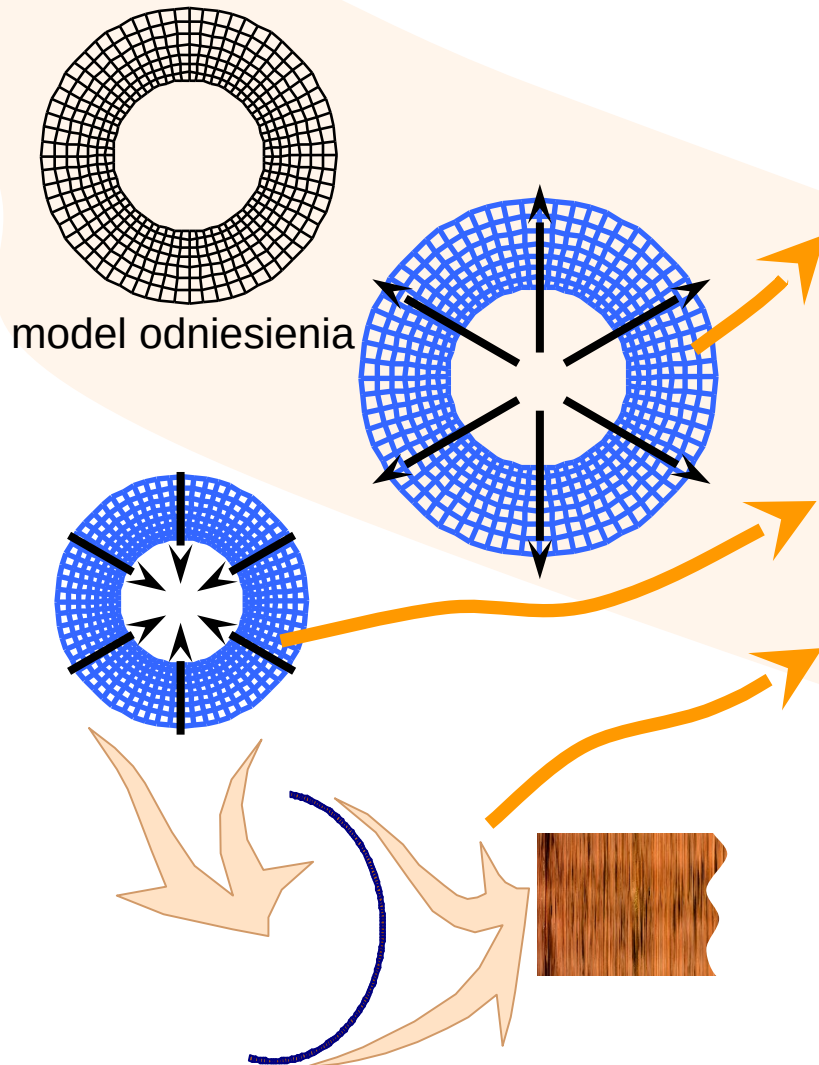
ψ - parametr wpływu naprężeń

t - czas ciągły

i - czas dyskretny, iteracja

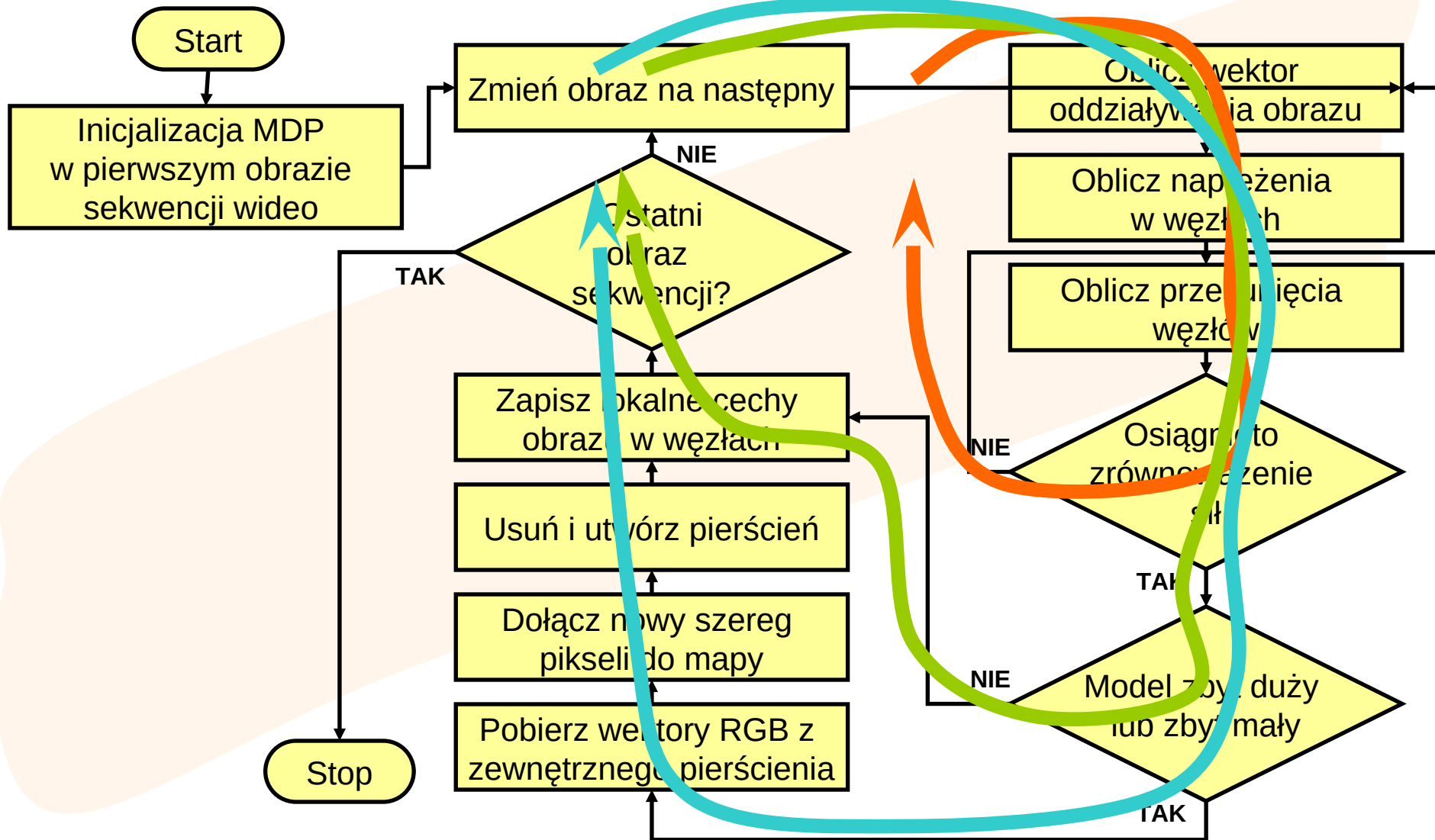
- Proces przesuwania węzłów powtarzany jest dla pojedynczego obrazu sekwencji wielokrotnie dla każdego węzła aż uzyskany zostanie stan zrównoważenia w MDP:
 - przeciętne przemieszczenie węzła mniejsze od założonego progu
 - przekroczona maksymalna liczba iteracji

Tworzenie Mapy



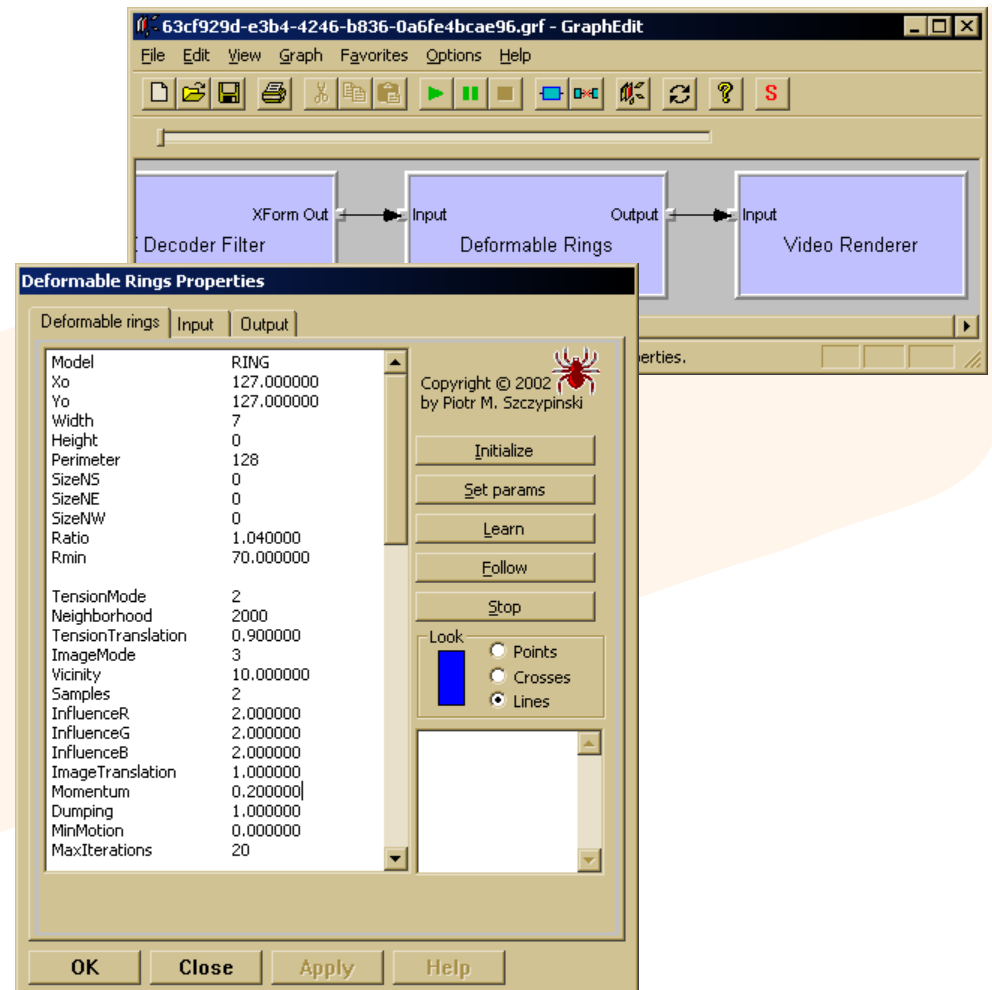
- Każdorazowo, po zakończeniu procesu dopasowania obliczona jest macierz \mathbf{J} dla całego modelu
- Jeśli $\det \mathbf{J} > w^2$ to zewnętrzny pierścień jest usuwany i tworzony jest nowy pierścień wewnętrzny (w - proporcja promieni sąsiednich pierścieni w siatce odniesienia)
- Jeśli $\det \mathbf{J} < w^{-2}$ to wewnętrzny pierścień jest usuwany i tworzony jest nowy pierścień zewnętrzny
- W obu przypadkach wektory RGB w węzłach zewnętrznego pierścienia formowane są w szereg pikseli. Kolejno uzyskiwane szeregi pikseli tworzą mapę powierzchni układu pokarmowego
- Szybkość kapsuły szacowana jest jako odwrotność liczby obrazów pomiędzy zdarzeniami usunięcia pierścieni

Algorytm MDP

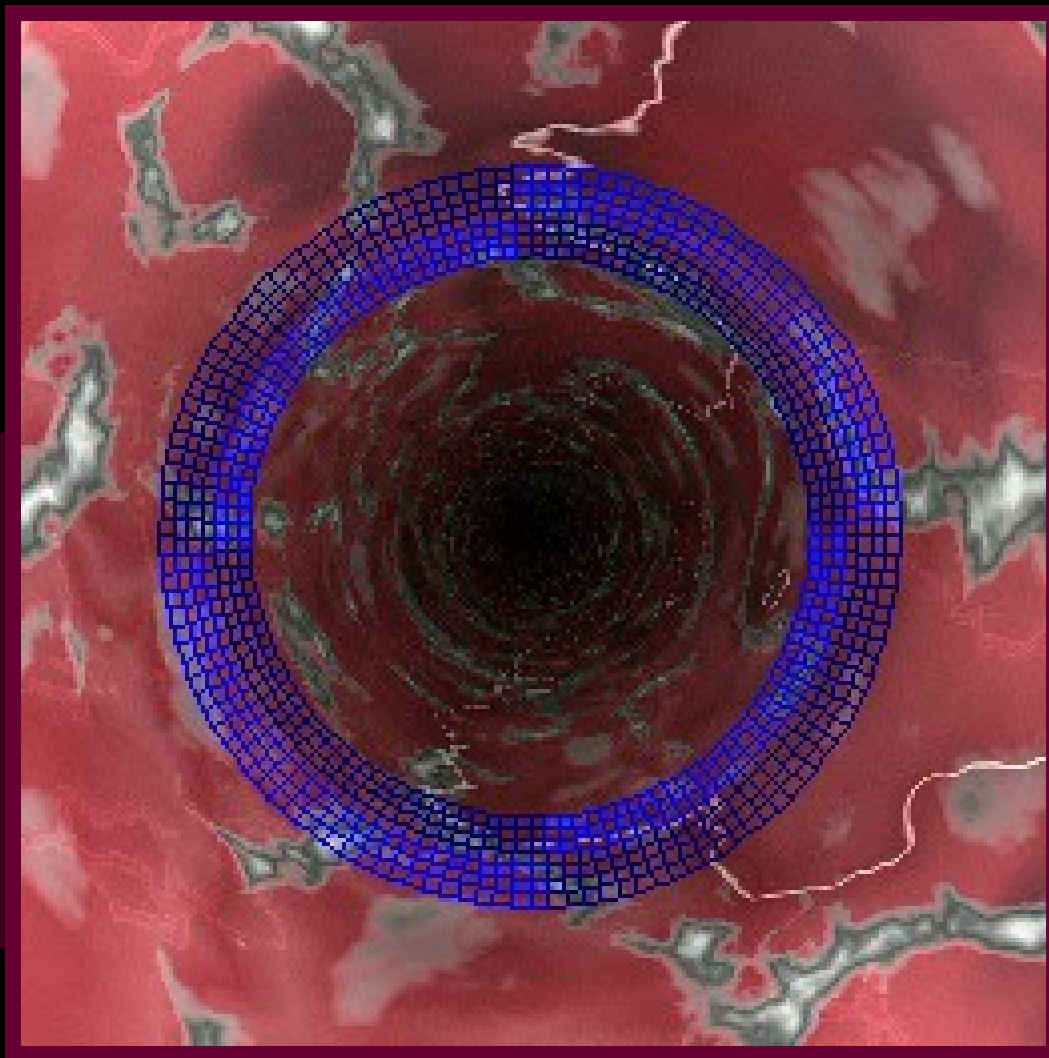


Implementacja MDP

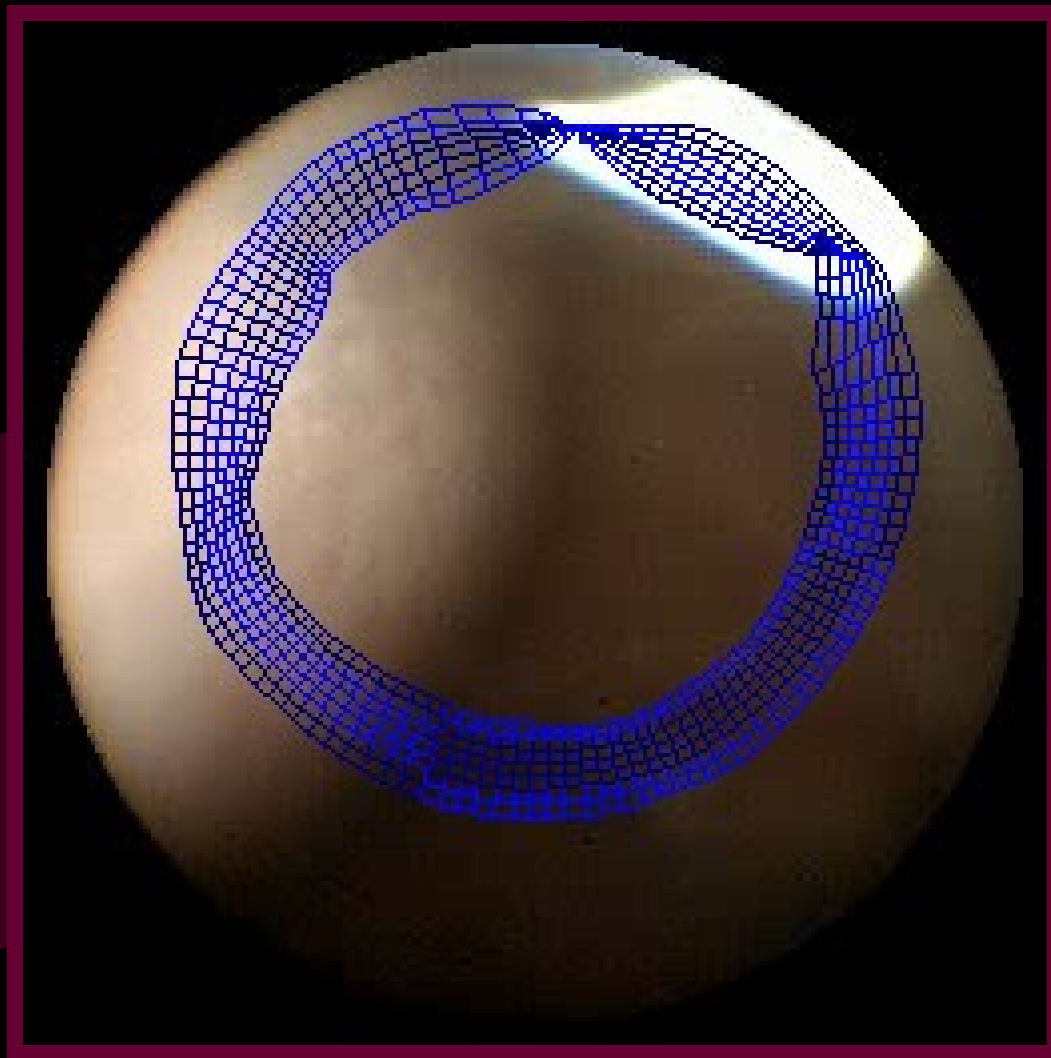
- The MDP
oprogramowano w języku
C++ wykorzystując
technologię *Microsoft
DirectShow*



Przykłady działania MDP

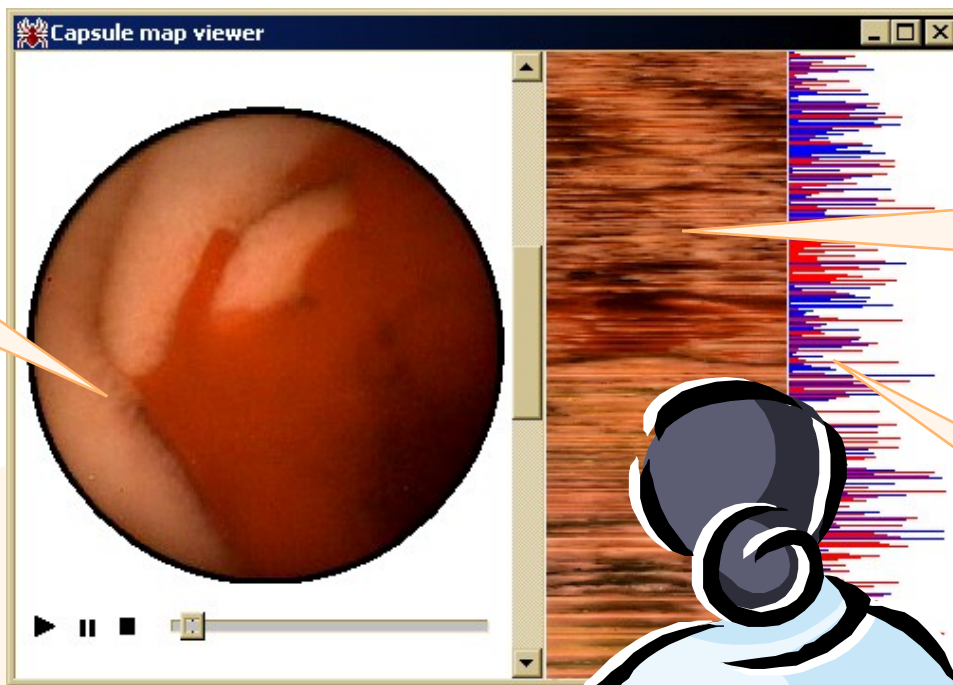


Przykłady działania MDP



Wspomaganie interpretacji danych wideo z WCE

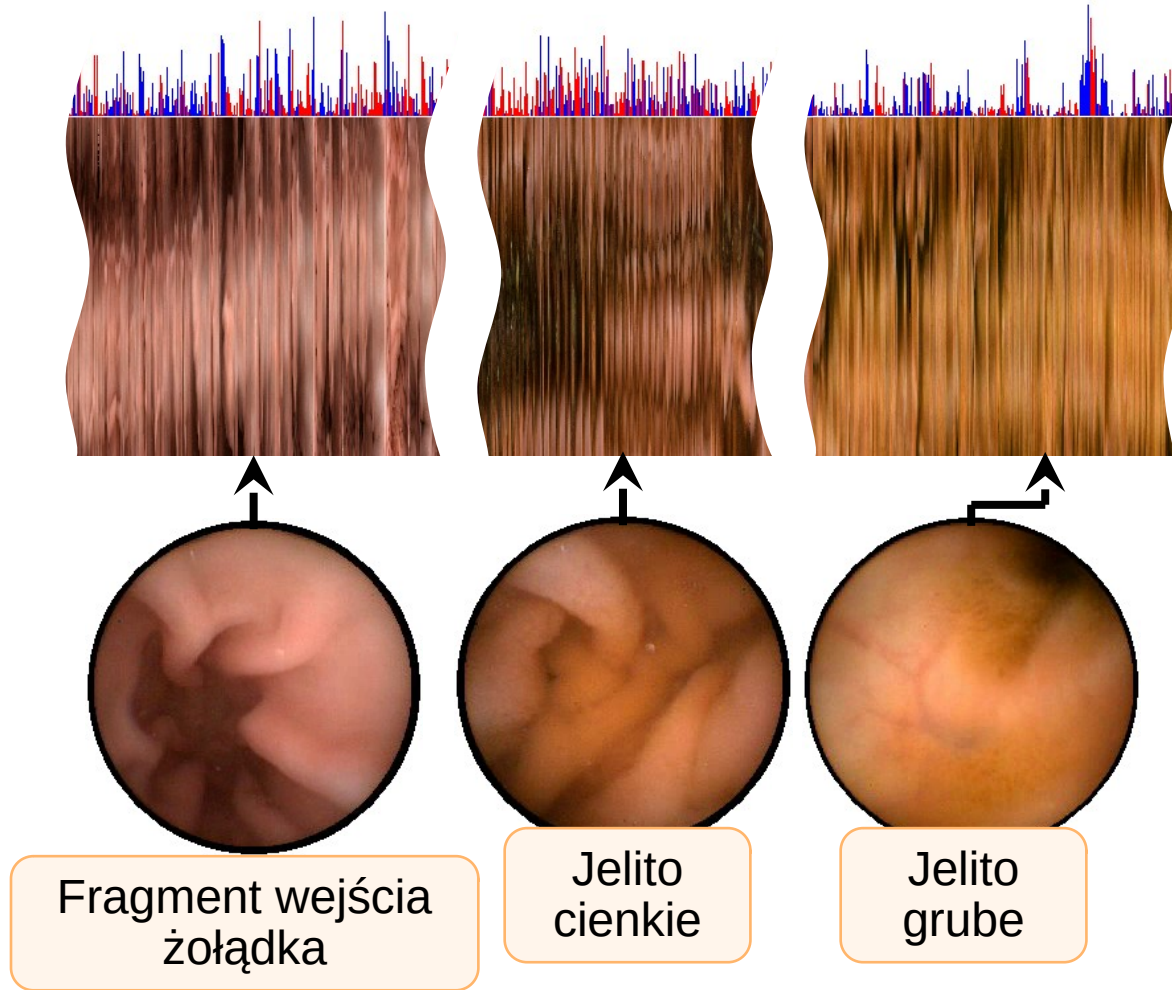
Obraz wideo odpowiadający wybranemu punktowi na mapie



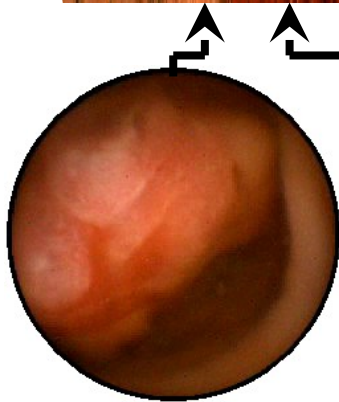
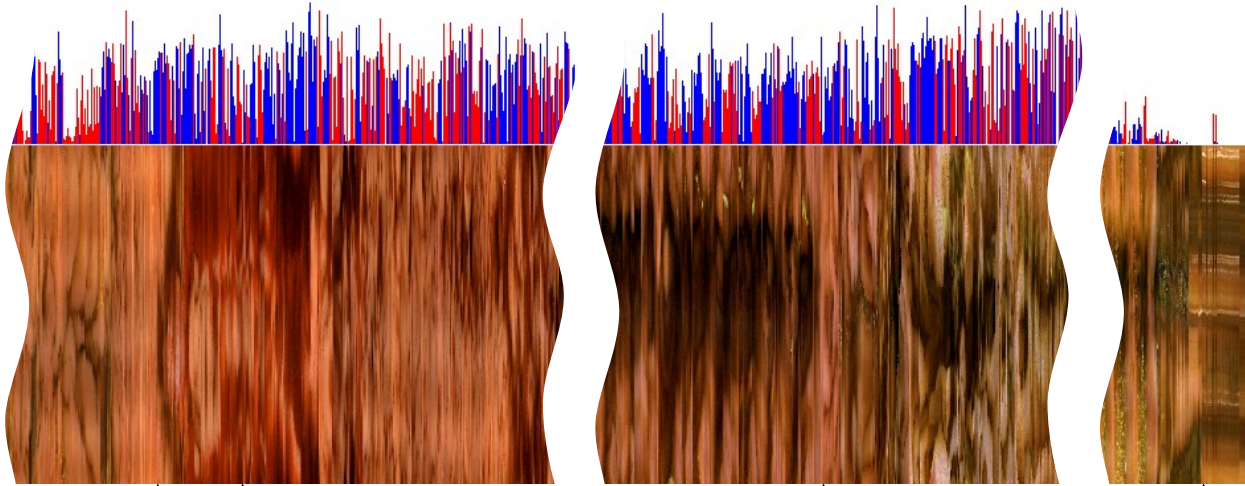
Mapa powierzchni układu pokarmowego

Wykres prędkości kapsuły

Przykłady prawidłowego wyglądu układu pokarmowego



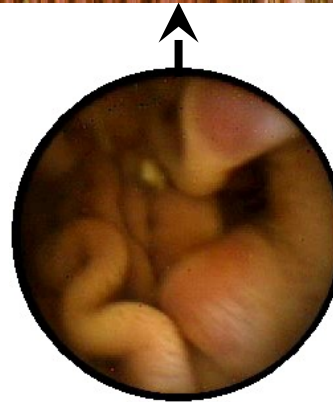
Przykłady uszkodzeń układu pokarmowego



Rozproszony wrzód Crohna



Miejsce krwawienia

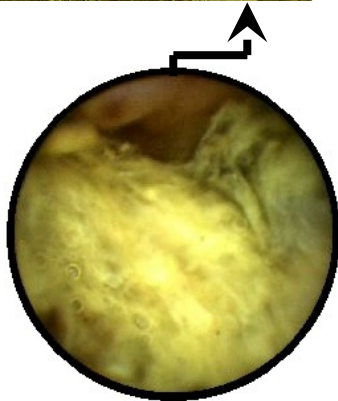
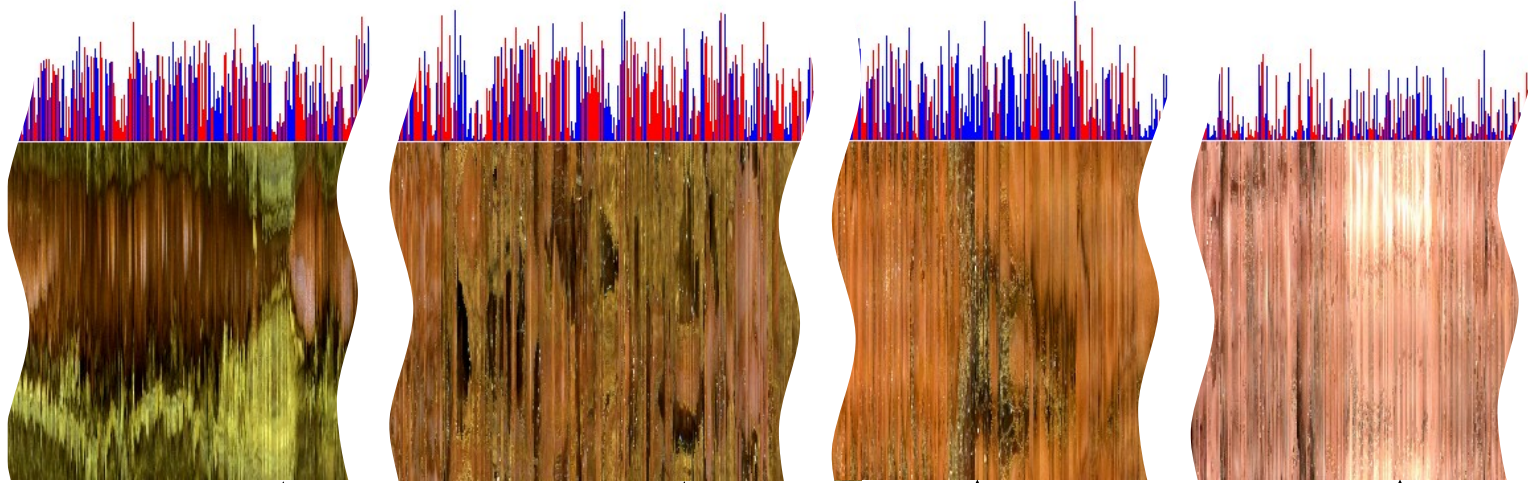


Skupiona erozja powierzchni

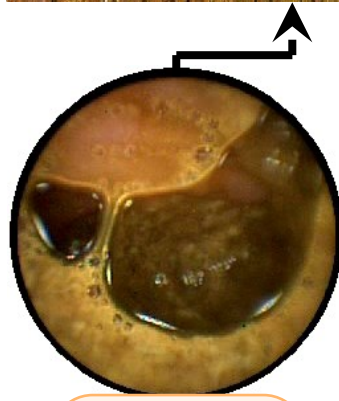


Miejsce zatrzymania się kapsuły, możliwe przewężenie w jelicie

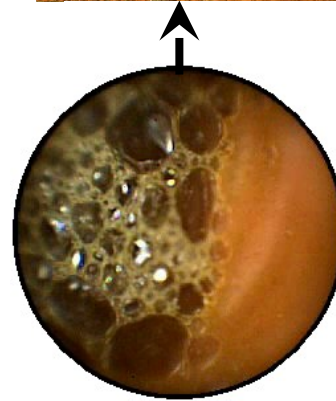
Inne przykłady



Częściowo
strawiona
treść
pokarmowa



Gazy i
treść
pokarmowa



Bańki gazu
przesłania-
jące obraz



Prześ-
wietlony
obraz

Inne potencjalne zastosowania MDP



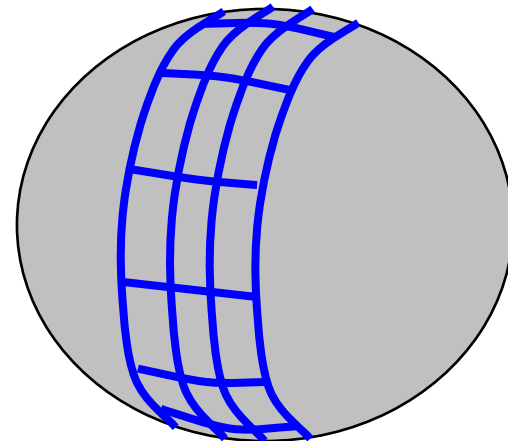
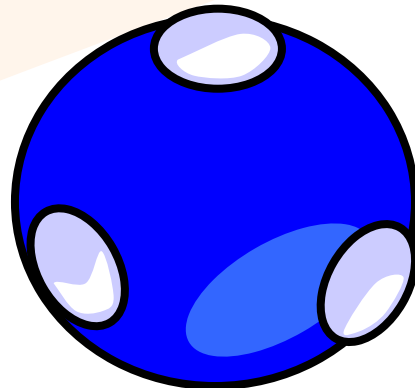
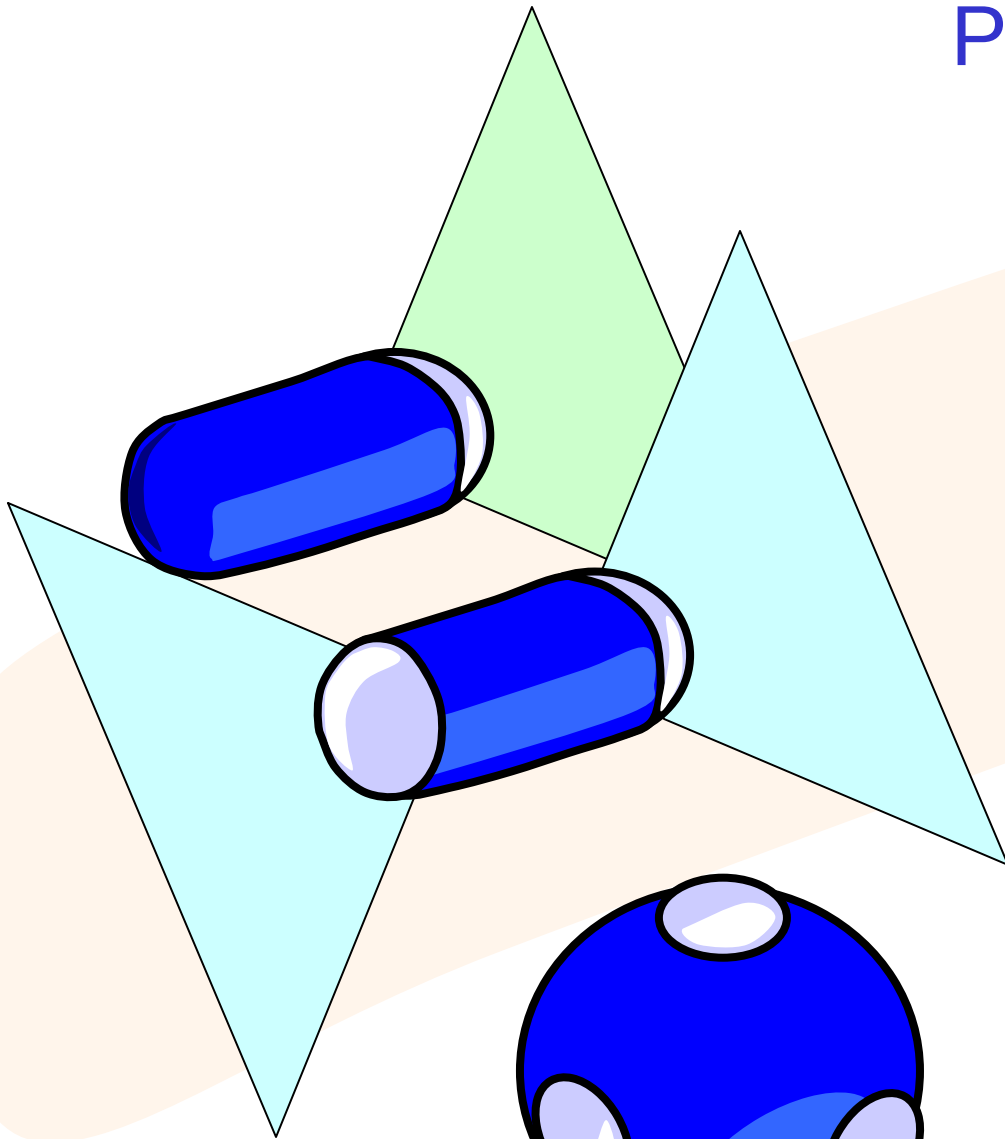
Wideo uzyskane od Dr. Michaela Shneiera,
ISD, National Institute of Standards and Technology

- Skompresowana reprezentacja drogi i jej otoczenia
- Szacowanie prędkości na podstawie analizy zapisu wideo
- Identyfikacja charakterystycznych obiektów w otoczeniu drogi



Pomysły

- Modifikacja endoskopu bezprzewodowego - obserwacja dookólna (4 kamery)
- Sferyczna projekcja obrazu
- Opracowanie MDP operującego na powierzchni sferycznej



Wnioski

- Zidentyfikowano pewne cechy charakterystyczne występujące w mapach generowanych przez MDP wskazujące na miejsca krwawień, owrzodzeń, miejsca gdzie obraz był przesłonięty przez treść pokarmową
- Mapa może być szybko przejrzana pod kątem poszukiwania obszarów, które powinny być dokładniej zbadane i obszarów, które można wyłączyć z procesu badania
- Estymata prędkości kapsuły pozwala odnaleźć obszary retencji, w których może występować przewężenie światła układu pokarmowego
- Mapa może służyć jako odnośnik do konkretnych fragmentów sekwencji wideo
- Oszacowano, że wykorzystanie MDP i map układu pokarmowego może w niektórych przypadkach dwukrotnie zredukować czas poświęcany przez lekarza na analizę danych z WCE