Contribution to the design of a multimodal PET / US imager for breast cancer

Ph.D. thesis van DANG Jun

Samenvatting

Het   doel   van   dit   onderzoek   was   een   combinatie   te   maken   van   een   PET   scanner   geoptimaliseerd   voor   borstkanker   onderzoek,   met   een   echografie   scanner.   De   gebruikte   echografie   scanner   is   een   commercieel  systeem  ontworpen  door  de  firma  Supersonic  Imgine,  en  de  PET  scanner  werd  ontwikkeld   door  de  Crystal  Clear  Collaboratie.  Het  uiteindelijk  doel  is  die  twee  medische  technieken  te  combineren   in  een  enkel  toestel  dat  toelaat  beide  beelden  te  versmelten,  en  op  die  manier  de  detectie,  diagnose  en   therapie  van  borstkanker  te  verbeteren.

ClearPEM   is   een   geavanceerde   PET   scanner   speciaal   ontworpen   voor   het   maken   van   beelden   van   de   borst.  Het  toestel  heeft  de  mogelijkheid  de  diepte  van  het  interactiepunt  van  de  gamma  stralen  van  511   keV   te   bepalen,   en   laat   daardoor   toe   een   veel   beter   ruimtelijke   resolutie   te   bekomen.   De   detector   bestaat   uit   twee   vlakke   detector   modules.   In   iedere   module   bevinden   zich   kleine   LYSO   kristallen   waarvan   het   scintillatie   licht   aan   beide   zijden   kan   uitgelezen   worden   met   "avalanche"   fotodioden.   De   patiënt  ligt  voorover  met  de  borst  hangend  tussen  de  twee  detector  platen.

De   echografie   scanner   gebruikt   in   dit   project   werd   ontwikkeld   door   de   firma   SupersonicImagine,   en   is   geoptimaliseerd   voor   borstonderzoek.   Behalve   de   normale   B-­‐mode   echografie,   laat   dit   toestel   ook   toe   elastografische   beelden   te   maken,   en   op   die   manier   de   biomechnische   eigenschappen   van   de   zachte   weefsels   te   bepalen.   Deze   combinatie   van   twee   elastografische   modaliteiten   laat   toe   de   eventuele   aanwezigheid  van  kanker  beter  te  detecteren  en  beter  te  characteriseren.

Voor   deze   studie   werd   een   aangepast   fantoom   ontwikkeld   gebaseerd   op   het   gebruik   van   een   mengsel   van   gelatine   en   Agar.   Dit   fantoom   heeft   toegelaten   de   procedure   voor   de   opname   van   beelden   te   simuleren,   en   dus   mogelijke   manieren   om   de   PET   beelden   en   echografie   beelden   de   versmelden,   te   bestuderen.   Door   gebruik   te   maken   van   een   6D   magnetisch   positioneringstoestel   kan   men   zowel   de   positie   van   merktekens   op   the   borsthouder,   als   the   positie   van   de   echografische   meetkop   kennen.   De   merktekens  waren  radioactieve  puntbronnen  die  ook  zichtbaar  zijn  in  de  PET  beelden.  Op  die  manier  is   het  mogelijk  de  beelden  te  versmelten.

Wij   hebben   twee   methoden   bestudeerd   om   de   beelden   te   versmelten:   "mutual   information"   gebaseerde   versmelting   waarbij   het   mogelijk   is   rekening   te   gehouden   met   eventuele   elastische   vervorming   van   de   borst   tussen   de   twee   beelden,   en   versmelting   gebaseerd   op   merktekens,   waarbij   enkel   rigide   transformaties   beschouwd   worden.   Ons   werk   heeft   aangetoond   dat   enkel   die   laatste   methode  kan  toegepast  worden  in  dit  geval.

# Abstract

The purpose of this work is to combine the ClearPEM, which is a PET scanner dedicated for breast cancer imaging, with a commercial medical ultrasound scanner from “Super Sonic Imagine”. In the end goal of this research is to find a way to combine these two modalities, and to provide image fusion capacity, and in this way improve cancer detection, diagnosis, and therapy.

ClearPEM is an advanced PET scanner for breast imaging, with the ability to measure the depth-of-interaction information of the 511 keV annihilation events. This will dramatically increase the spatial resolution of the scanner. With the two plate detector heads, which are manufactured based on the LYSO:Ce pixelised crystals and APD chips on both of the top and bottom surface of each crystal, patient can be scanned in prone position, with their breast naturally overhanging inside the FOV between the detector heads .

SuperSonic’s elastographic medical ultrasound system is a commercial system, specifically designed for clinical breast imaging. Beside of the basic B-mode scanning function, this system has an innovative shear waved induced soft tissue elasticity imaging ability, which provides a way to evaluate the distribution of the bio-mechanic characteristics of the soft breast tissues. With its B-mode and shear wave elastic imaging function, it can help the medical doctor to evaluate the stages of the breast cancer more accurately.

Chapter 1 introduces the clinical related issues for breast cancer. Chapter 2 and Chapter 3 introduce the imaging physics of PET and medical ultrasound, respectively. Chapter 4 introduces the ClearPEM and SuperSonic’s elastographic ultrasound system, together with corresponding imaging results.

In Chapter 5, an gelatin-agar breast phantom has been developed to simulate and evaluate the work flow of combined ClearPEM-Sonic scanning, and to test PET-Ultrasound image fusion. A 6D magnetic position sensor was used to record the coordinates of the ultrasound probe and of the fiducial markers on the phantom. The fiducial markers were radioactive point sources, such that they can also be seen in the PEM images, as is necessary for the image fusion.

In Chapter 6, both fiducial marker based rigid-body registration and mutual information based deformable image registration methods were tested. As reported in Chapter 5 and Chapter 6, we found that based on the image nature of PET and ultrasound, rigid registration is the only reasonable choice to perform image fusion between the PET and the ultrasound modalities.

Chapter 7 introduced the conclusion and future work.