



Fakultät für Mathematik und Wirtschaftswissenschaften
Institut für Numerische Mathematik

Projekt CSE

Radarsignalverarbeitung mit Grafikprozessoren

vorgelegt von

Anton Hügel, Jonas Schwer, Lukas Tatzel, Michael Thoma

am 4. Januar 2017

Betreuung

Prof. Dr. Stefan A. Funken, Dr. Markus Bantle

Inhaltsverzeichnis

1. Theorie	3
1.1. Funktionsweise eines Radars	3
1.1.1. Puls-Doppler-Radar	3
1.1.2. Aufbau eines Radar	4
1.1.3. Sende- und Empfangssignale	4
1.2. Radarsignalverarbeitung	4
1.2.1. Pulskompression	4
1.2.2. Dopplerfilterung	4
1.2.3. Betrags-Bildung	4
1.2.4. CFAR	4
1.3. Fouriertransformation	4
1.3.1. Kontinuierliche FT	4
1.3.2. Diskrete FT (DFT)	4
1.3.3. Fast-Fourier-Transform (FFT)	4
1.4. OpenCL	4
2. Projekt	5
2.1. Anforderungen	5
2.2. Implementierung	5
2.3. Verifikation	5
2.3.1. Tests	5
2.3.2. Benchmarks	5
2.4. Zusammenfassung und Fazit	5
A. Algorithmen	6
B. Quellcode	7

1. Theorie

In diesem Kapitel soll die Funktionsweise eines Radar-Systems (**radio detection and ranging**) und dessen Signalverarbeitungsalgorithmen sowie einige mathematische Grundlagen kurz erläutert werden, wie sie ausführlicher auch in [Ric05, RSH10, Lud02] nachzulesen sind. Zudem wird eine grundlegende Einführung in die Programmierschnittstelle OpenCL gegeben, mit welcher eine Programmierung für Grafikprozessoren umgesetzt werden kann.

1.1. Funktionsweise eines Radars

Dieses Unterkapitel behandelt die Funktionsweise eines Radars. Falls nicht anders angegeben, stammen die hier zusammengetragenen Informationen aus [Ric05, Kapitel 1] und [Lud02, Kapitel 1].

Die Hauptaufgabe eines Radars besteht darin, Objekte mittels Radiowellen zu detektieren und deren Position zu bestimmen. Dazu werden elektromagnetische Wellen über die Antenne des Radars emittiert. Diese werden an Objekten, die sich im Sichtfeld des Radars befinden, reflektiert und gelangen als „Echo“ wieder zum Radar zurück. Elektromagnetische Wellen bewegen sich in Luft (in guter Näherung) mit Lichtgeschwindigkeit, also mit knapp 300000km/s fort. Die Zeit zwischen dem Aussenden und dem Empfangen der Radiowelle wird als „Laufzeit“ bezeichnet. Anhand der Laufzeit, lässt sich über eine einfache Formel der Abstand zwischen dem Radar und einem reflektierenden Objekt berechnen. Neben der Entfernungsmessung sind moderne Radarsysteme dazu in der Lage, die Geschwindigkeit von detektierten Objekten zu messen (Doppler-Filterung), den Typ der Ziele zu bestimmen (Klassifikation) und deren Position nachzuverfolgen (Tracking).

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Radar-Typen, die sich in ihrer Funktionsweise beispielsweise hinsichtlich der Sendefrequenz, Sendeleistung oder Bauart unterscheiden. Dementsprechend existiert heute eine große Anzahl von Anwendungsmöglichkeiten, sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich. Im Zuge dieses Projekts wird ausschließlich ein sogenanntes „Puls-Doppler-Radar“ betrachtet.

1.1.1. Puls-Doppler-Radar

Beim Puls-Doppler-Radar werden durch die Antenne des Radars kurze Sendepulse in dieselbe Richtung emittiert. Auf jeden Sendepuls folgt eine gewissen Empfangszeit, in der die Antenne auf Empfang geschaltet wird. Ein Vorteil des Puls-Doppler-Radars besteht also in der Möglichkeit, eine einzige Antenne sowohl für das Senden als auch das Empfangen verwenden zu können.

Vergleicht man einen Sendepuls mit dessen Echo, so stellt man bei bewegten Objekten einen Unterschied im Frequenzverlauf fest. Dieses Phänomen wird als „Dopplereffekt“ bezeichnet. Durch den Vergleich von mehreren Echos verschiedener Sendepulse lassen sich Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit (genauer die Radialgeschwindigkeit bezogen auf das Radar) von detektierten Objekten ziehen.

1.1.2. Aufbau eines Radar

1.1.3. Sende- und Empfangssignale

1.2. Radarsignalverarbeitung

1.2.1. Pulskompression

1.2.2. Dopplerfilterung

1.2.3. Betrags-Bildung

1.2.4. CFAR

1.3. Fouriertransformation

1.3.1. Kontinuierliche FT

1.3.2. Diskrete FT (DFT)

1.3.3. Fast-Fourier-Transform (FFT)

1.4. OpenCL

2. Projekt

Eine Abhandlung des bearbeiteten Projekts wird in diesem Kapitel gegeben, wobei zunächst die Aufgabenstellung dargelegt, dann deren Umsetzung erläutert und zuletzt eine Verifikation und Bewertung der Ergebnisse durchgeführt wird.

2.1. Anforderungen

2.2. Implementierung

2.3. Verifikation

2.3.1. Tests

2.3.2. Benchmarks

2.4. Zusammenfassung und Fazit

A. Algorithmen

B. Quellcode

Literaturverzeichnis

- [RSH10] Richards, Mark A.; Scheer, James A. und Holm, William A. *Principles of modern radar: Basic Principles*. Scitech Publishing, Raleigh, 1. Auflage, 2010.
- [Ric05] Richards, Mark A. *Fundamentals of Radar Signal Processing*. McGraw-Hill, Raleigh, 1. Auflage, 2005.
- [Lud02] Ludloff, Albrecht. *Praxiswissen Radar und Radarsignalverarbeitung*. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 3. überarbeitete Auflage, 2002.
- [AH01] Atkinson, Kendall und Han, Weinmin. *Theoretical Numerical Analysis: A Functional Analysis Framework*. Springer, NewYork, 1. Auflage, 2001.
- [AHK⁺10] Arens, Tilo; Hettlich, Frank; Karpfinger, Christian; Kockelkorn, Ulrich; Lichtenegger, Klaus und Stachel, Hellmuth. *Mathematik*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2., korrigierter Nachdruck, 2010.
- [AU10] Arendt, Wolfgang und Urban, Karsten. *Partielle Differenzialgleichungen: eine Einführung in analytische und numerische Methoden*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2010.
- [Ban13] Bantle, Markus. *On hp-Boundary ElementMethods for the Laplace Operator in Two Dimensions*. Dissertation, Universität Ulm, 2013.
- [BB85] Bunse, Wolfgang und Bunse-Gerstner, Angelika. *Numerische lineare Algebra*. Teubner, Stuttgart, 1985.
- [BBF13] Bantle, Andreas; Bantle, Markus und Funken, Stefan. *epsBEM, efficient p-stable Matlab implementation of 2d BEM for Laplace and Lamé problems*. Technischer Bericht, Universität Ulm, 2013.
- [Han09] Hanke-Bourgeois, Martin. *Grundlagen der Numerischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens*. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 3., aktualisierte Auflage, 2009.
- [MAT14] MATLAB. *Version 8.4.0.150421 (R2014b)*. Software und Dokumentation, The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, 2014.
- [Mei15] Meister, Andreas. *Numerik linearer Gleichungssysteme: Eine Einführung in moderne Verfahren*. Springer Spektrum, Wiesbaden, 5., überarbeitete Auflage, 2015.
- [QSS02a] Quarteroni, Alfio; Sacco, Riccardo und Saleri, Fausto. *Numerische Mathematik*. - 1. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.
- [QSS02b] Quarteroni, Alfio; Sacco, Riccardo und Saleri, Fausto. *Numerische Mathematik*. - 2. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.
- [SK06] Schwarz, Hans Rudolf und Köckler, Norbert. *Numerische Mathematik*. Teubner, Wiesbaden, 6., überarbeitete Auflage, 2006.
- [Ste03] Steinbach, Olaf. *Numerische Näherungsverfahren für elliptische Randwertprobleme: finite Elemente und Randelemente*. Teubner, Wiesbaden, 1. Auflage, 2003.
- [Wer92] Werner, Jochen. *Lineare und nichtlineare Gleichungssysteme, Interpolation, numerische Integration*. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1992.