

Selbsterkennende akustische Unterwasserkommunikation

Ivor Nissen

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)

D-24340 Eckernförde, Deutschland, IvorNissen@Bundeswehr.org

Unterwasserkommunikation (UWK) muss sich an unterschiedlichste akustische Kanalbedingungen anpassen, da sich mit Ort und Zeit die Ausbreitungsbedingungen in Größenordnungen von Millisekunden und Dezimetern ständig verändern - das sogenannte SONAR-Wetter höchst variabel ist. Der Sender einer Nachricht muss insbesondere maximale Zeit- und Doppler-Spreizungen hinreichend gut schätzen und festlegen. Ein pessimistisch zu hoher Schätzwert verschwendet Datenrate, eine optimistisch zu niedriger führt zu Dekodierfehlern beim Empfänger. Im Netzwerk potenziert sich diese Kunst der Verbindungsaufnahme. Aber auch der Empfänger muss wissen, welches Modulationsprofil vom Sender gewählt wurde, um sich anzupassen. Adaptive akustische UWK nutzt oftmals kodierte Präambeln, die Mapping-, Kodier- und Modulationsparameter enthalten und der eigentlichen Datenübertragung insbesondere für Synchronisations- und Aufweckzwecke vorangestellt werden. Der Empfänger nutzt dann die Präambleinstellung, um die empfangende Wellenformung einem Profil korrekt zuzuordnen und erstgenannte auswerten zu können. Das verlängert nicht nur die eigentliche Nachrichtenübertragung, sondern führt auch zu einer Steigerung der Korrelationsaufwände in kleinen stromsparenden Modems.

In diesem Beitrag soll als selbsterkennende Methode das iterative Dekodieren vorgestellt werden, unterstützt durch die Schätzung der Mappingzustände mittels Clusterung und der Signallänge durch den Energieeintrag. Mit Hilfe der iterativen Dekodierung kann der Empfänger ohne Präambel Parameter der Übertragung erkennen, indem eine Minimierungsaufgabe mit implizitem Abstiegsfunktional gelöst wird, ähnlich der Blinden Kanalschätzung doch nun mit Piloten.

Derzeitige Herangehensweise

Konnten in den letzten Jahren akustische Modems nur firmeneigene Wellenformen erkennen und dekodieren, so benötigt man mit den Standards STANAG 1481/4748 und ISO/IEC 3014{0,2,3} multi-band-, multiwellenform-Modems. Dazu wird einer Übertragung der Nachricht ein Wake-up, sowie Synchronisations- und Einstellungspräambel vorangestellt. Angenommen, die kodierten Präambeln, die Mapping-, Kodier- und Modulationsparameter enthalten, umfassen nur jeweils zwei Modulations-, zwei Mappingarten (BPSK und QPSK), mit und ohne Pilotenmuster, zwei unterschiedlich lange Schutzintervalle zur Kompensation von Mehrwegeeffekten sowie zwei verschiedenen Blocklängen für Anwenderdaten, so hat man bereits $2^5 = 32$ Profile und mit den zugehörigen Dopplerfilterbänken potenzierte Korrelationen zu verwalten - auch für moderne stromsparende Prozessorarchitekturen nicht leistbar. In einem Netzwerk ist der Austausch von kurzen Nachrichten-Bursts [2] sinnvoll, um Kollisionen zu vermeiden, siehe Abbildung 1, aber auch um eine Emissionsminimierung durch kurze Aussendungen durchzuführen [1].

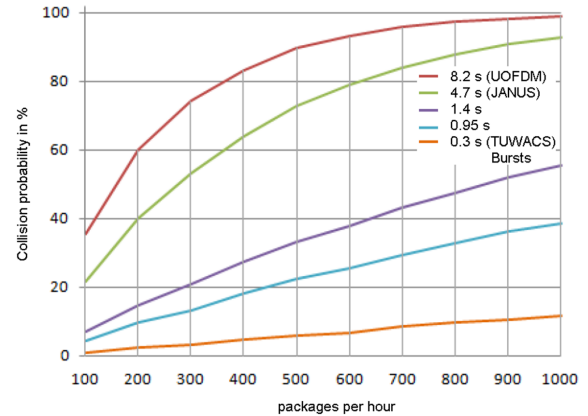


Abbildung 1: Kollisionen in einem Netzwerk bei wachsender Länge der Übertragungssignale. Bei einem Netzwerk mit einem 1/10-Nachrichtenaufkommen pro Sekunde, kollidieren zwei Burst-Nachrichten mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 10%, bei JANUS hingegen bei 80% [2].

Der Mensch kann linguistische Diversität schnell trennen, ob er eine Sprache verstehen kann, diese für ihn unbekannt oder als Dialekt mit Fehlern dekodierbar ist [1] - warum nicht auch das Modem? Das Ziel ist es demnach auf Synchronisations- und Konstellationspräambeln zu verzichten. Das gilt insbesondere bei Bursts. Da auch wir nicht jedem Satz voranstellen, welchen Dialekt wir wie schnell sprechen, ist die Selbsterkennung ein sinnvolles Instrument. Dafür benötigt man ein schnell auswertendes Kriterium, welches bei unterschiedlichen Mapping- und Kodierparametern gleichermaßen funktioniert.

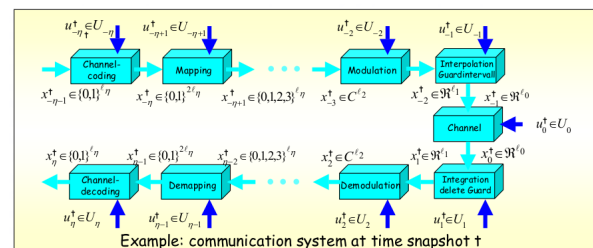


Abbildung 2: Ein adaptives Kommunikationssystem als Prozesskette modelliert. Die Anwendernachricht in Form einer 01-Sequenz wird kodiert, moduliert, bei unbekanntem, zum Teil nicht steuerbaren Kanaleigenschaften übertragen, aufgefasst und zurückgewandelt. Die blauen Pfeile deuten Steuerungsmöglichkeiten an.

In den Messungen der letzten 5 Jahre hat sich gezeigt, dass In-Situ-Modelle wie der hochkarätige MOCASSIN-Raytracer mit genauer Umweltdatenbank oder BELL-HOP zwar Effekte gut beschreiben, aber die schnellvariante Mehrwegestruktur nur qualitativ wiedergibt. Das kann aber a-posteriori wie folgt kompensiert werden:

Iterative Flip-Dekodierung

Mittels diskreter Prozesskette kann adaptives Übertragungsverhalten modelliert werden. Bei möglichst geringen Ressourcen wie z.B. dem Zeit-Bandbreite-Produkt ist das Ziel, die gesendete Nachricht fehlerfrei zurückzuwandeln (Abbildung 2) und hierfür die systemische Steuerung durch geeignete Profilwahl (Kodiererauswahl, Schätzung der Schutzintervalle in Zeit und Frequenz, Mapping- und Pilotenmuster und Frequenzband), nebst Sendezeitpunkt und -leistung (TX) sowie Gain-Einstellung (RX) im Empfänger zu bestimmen. In einer Feedback-Schleife, die den Sendeteil am Empfänger iterativ anwendet (Abbildung 3) wird die Symbolfehleranzahl geschätzt. Der einfache Zusammenhang $1 - \text{AnzahlMarkierterSymbole} / \text{GesamtanzahlSymbole}$ liefert den Zuverlässigkeitswert, der in Abbildung 4 für drei Experimente aufgeführt ist. Als Abbruch wird eine Iterationsobergrenze bei einer Zuverlässigkeit ungleich eins gewählt.

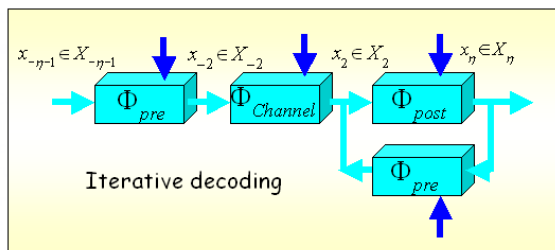


Abbildung 3: Das iterative Dekodierung im Empfänger nutzt selbst erarbeitetes Wissen sowie die Sendelogik zur Generierung der Signale. Eine Distanzmessung von im Empfänger generierter Sendesignale auf Basis der Empfangsnachricht mit den Empfangswerten liefert das Maß.

Der Algorithmus kann wie folgt formuliert werden:

- Wähle mit historischem und a-posteriori-Wissen im Sender (TX) ein Profil.
- Generiere Nachricht, sende und dekodiere dieses und sende ggf. erneut mit anderem (benachbarten) Profil $n \leq N$.
- Empfange bei RX und bestimme Zuverlässigkeitswerte für N mögliche Profile.
- Wähle Profil mit höchsten Zuverlässigkeitswert aus und reiche dekodierte Nachricht an höhere Schichten weiter.

Voraussetzung ist, dass die Mappingbelegungen unterschiedliche Offset-Werte aufweisen, damit das gesuchte Profil bestimmt werden kann. Zudem kann der Nachhall und damit die zeitliche Spreizung im Sender geschätzt und für alle Empfänger als grober Indikator angenommen werden. Dieser Wert verliert im Flachwasser erst ab drei Reflektionen zu den Empfängern an Oberfläche und Meeresboden seine Schrankenwirkung (PE 102018003299).

Seeversuche

In den Seeversuchen RACUN 2014 vor La Spezia im Mittelmeer, GUWMANET17 in der Nordsee bei FINO3 und COST18 in der Tromper Wiek vor Rügen wurden in den Unterwassersensornetzwerken Nachrichten zwischen mehreren autonomen Subjekten ausgetauscht, siehe Abbildung 4. Jede Nachricht ist 128 bit lang und beinhaltet

eine 16-bit-CRC-Prüfsumme, deren Berechnung dem Modem nicht bekannt ist. Dennoch ist die Bestimmung des Zuverlässigkeitswertes ohne diese Kenntnis des Inhaltes und ohne die korrekte (=gesendete) Profilwahl möglich. Dieser Wert ist den Experimenten sogar schneller am Empfänger zu ermitteln, als mit einem In-Situ-Modell (Raytracer) die Parameter zu schätzen. Zudem fällt auf, dass in allen drei Experimenten ähnliche Verläufe entstanden sind, die lila Balken (gemäß nachträglichen CRC-Prüfsummenabgleich fehlerfrei) unterhalb von 0.9 auf nur noch vereinzelte korrekte Nachrichten abfallen.

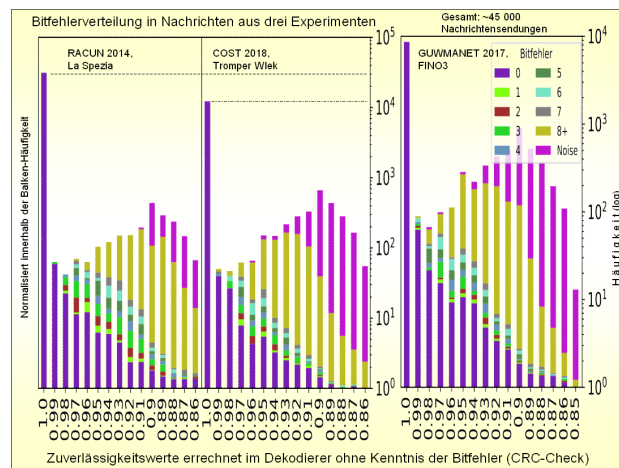


Abbildung 4: In den drei Seeversuchen wurden mehrere zehntausend Nachrichten durch restringiertes Fluten multipliziert im Sensornetzwerk empfangen. Dabei zeigt sich, dass ohne Kenntnis der Nachrichteninhalte wie Struktur und Prüfsummen der Zuverlässigkeitswert ein guter Indikator für die Güte der Übertragung und die Schätzung der angenommenen Steuerparameter ist.

Zuverlässigkeitswerte nahe der Eins offenbaren die richtige Wahl der gewählten Adaptionsparameter und die Richtigkeit der Nachricht. Ein Wert unterhalb von 0.8 kann als Rauschen (hier in rosa Farbe bei Bitfehlern > 8 von 128 bit) verworfen werden. Dort ist entweder der Kanal derart ungünstig, oder das Profil falsch erkannt.

Zusammenfassung

Adaptive UWK muß zwei Probleme lösen. Adaptionsparameter müssen nach Optimalitätskriterien geschätzt und an die Empfänger korrekt übertragen werden. Für Kurzzeitsignale wie Bursts ist ein hilfreicher Ansatz die Selbsterkennung - also die Schätzung von Übertragungsparametern. Hierzu wurde ein einfacher und in See getesteter Zugang vorgestellt, die Iterative Dekodierung mit dem daraus abgeleiteten Zuverlässigkeitswert.

Literatur

- IN, EMCON-Ansatz für die mobilen Unterwasserkommunikation, DAGA 2012
- IN, BURST COMMUNICATION - ONE SOLUTION FOR THE UNDERWATER INFORMATION MANAGEMENT, SHA 2015.