

Simulatie radiotelefonieverkeer bij Scheveningen-Radio te IJmuiden

Drs. W.J.G. Naarding
Drs. F.D.J. van Schaik
Drs. Ing. D.P.N.M. IJpelaar
Drs. M.F.T.M. Harterink *)

Samenvatting

Scheveningen-Radio, behorende tot PTT-Telecommunicatie, verzorgt een belangrijk deel van het radiotelefonieverkeer tussen scheepvaart en vaste wal. De techniek op dit gebied is zover gevorderd, dat het radiotelefonieverkeer op de korte en middengolf, tot op heden op verschillende apparatuur verwerkt, op één en hetzelfde apparaat kan worden behandeld. Mocht Scheveningen-Radio besluiten dit soort apparatuur aan te schaffen, dan zouden telefonistes afwisselend zowel korte als middengolf-berichten kunnen afhandelen, afhankelijk van de drukte op die twee soorten golflengten.

Ter ondersteuning van de beslissing over deze aanschaf zijn het nieuwe en het oude systeem gesimuleerd. Bij deze simulatie is gebruik gemaakt van diverse statistische technieken. Als keuzecriteria zijn gebruikt het benodigde aantal telefonistes en de optredende wachttijden in beide systemen. Gezien de gestelde wachttijdeisen blijkt slechts een gering verschil te bestaan in het benodigde aantal telefonistes bij beide systemen.

*) De auteurs hebben het hier gepresenteerde onderzoek verricht in het kader van hun studie Bestuurlijke Informatica aan de Rijksuniversiteit te Groningen onder supervisie van Dr. H.G. Sol. De statistische aspecten van het onderzoek kregen onder begeleiding van Prof. Dr. J.P.C. Kleijnen nadere aandacht als onderdeel van de studie Bedrijfseconometrie van F.D.J. van Schaik aan de Katholieke Hogeschool te Tilburg. Het onderzoek is uitgevoerd op instigatie van de afdeling Statistiek en Bedrijfseconometrie van de PTT te 's-Gravenhage. De auteurs zijn speciaal dank verschuldigd aan Drs. M. Zijlstra van het Centre for Quantitative Methods van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven. Vanzelfsprekend blijven de auteurs volledig verantwoordelijk voor de inhoud van deze bijdrage.

1. Inleiding

Scheveningen-Radio heeft zowel op de middengolf (MF) als op de korte golf (HF) een aantal kanalen beschikbaar voor de radiotelefonie.

Schepen kunnen Scheveningen-Radio oproepen om telefonisch contact te krijgen met iemand aan de wal of om een telegram op te geven.

De schepen sparen meestal een aantal telefoontjes en/of telegrammen op en gaan dan pas oproepen. Zo'n oproep van een schip samen met de afhandeling van de telefoontjes en telegrammen heet een QSO.

Iemand aan de wal die telefonisch contact met een schip wenst, kan dit opgeven aan Scheveningen-Radio. Op elk uur zendt Scheveningen-Radio op vele kanalen de bij de schepen behorende roepletters uit. Deze schepen wordt verzocht contact op te nemen met het kuststation. De lijst van opgeroepen schepen heet de verkeerslijst.

Vanwege het uitzenden van deze lijst kunnen gedurende enige minuten geen oproepen van schepen verwerkt worden op deze kanalen.

Er zijn twee systemen volgens welke een QSO afgehandeld kan worden: het zogenaamde oproeptelefoniste/werktelefoniste-systeem en het all-roundtelefoniste-systeem. In het oproeptelefoniste/werktelefoniste-systeem registreert de oproeptelefoniste de naam en de code van het schip en noteert hoeveel telegrammen en telefoontjes het schip wil afwerken en met wie. Zij geeft vervolgens deze gegevens door aan één van de werktelefonistes, die dit QSO op een ander kanaal gaat afwerken. Pas nadat deze werktelefoniste al deze telefoontjes en telegrammen geheel heeft afgehandeld, kan zij aan een volgend QSO beginnen. Het all-roundtelefoniste-systeem, of beter gecombineerd oproep/werktelefoniste-systeem, kent alleen all-roundtelefonistes, die beide soorten werkzaamheden combineren. Het all-roundtelefoniste-systeem kent maar één wachtrij, namelijk van schepen die wachten totdat een all-roundtelefoniste de oproep beantwoordt. Bij het oproeptelefoniste/werktelefoniste-systeem kunnen twee wachtrijen ontstaan.

Scheveningen-Radio streeft er naar te voldoen aan de volgende wachttijdeisen:

- 1. De gemiddelde wachttijd van QSO's in het drukste uur van de dag mag de 10 minuten niet overschrijden.
- 2. Maximaal 10% van de QSO's mag in het drukste uur een wachttijd van meer dan 30 minuten hebben.

In de huidige situatie werkt Scheveningen-Radio met het all-round-telefoniste-systeem op de HF en het oproeptelefoniste/werktelefoniste-systeem op de MF (Zie Schema Afhandeling QSO's op de volgende bladzijde). De werktijden van de telefonistes liggen in roosters vast en zijn afgestemd op het patroon van de verkeersdrukke bij de radiotelefonie. De werktijden zijn zodanig dat het aantal telefonistes van uur tot uur gevarieerd kan worden, maar dat een werktijd van 8 uur per dag gevuld moet worden. We bepalen het benodigde aantal telefonistes op basis van de drukke in de piekuren.

2. Probleemstelling en Onderzoekmethode

In de huidige situatie komt het wel voor, dat de telefonistes die op HF werken overbezet zijn, terwijl de MF-telefonistes onderbezet zijn. Ook het omgekeerde geval treedt wel op. De telefonistes kunnen echter niet à la minute van de ene golflengte overschakelen op de andere. Door nieuwe technische ontwikkelingen is nu de mogelijkheid ontstaan de afhandeling van het HF- en MF-verkeer te combineren, en wel volgens het oproeptelefoniste/werktelefoniste-systeem. In deze "toekomstige situatie" zouden voor de HF twee oproeptelefonistes nodig zijn en voor de MF één, en verder een gezamenlijke pool van werktelefonistes, die zowel HF als MF kunnen afhandelen (Zie Schema Afhandeling QSO's op de volgende bladzijde).

Scheveningen-Radio overweegt de voor deze situatie benodigde kostbare apparatuur aan te schaffen. De vraag is nu welke gevolgen invoering van het nieuwe systeem zal hebben voor het minimaal benodigde aantal telefonistes tijdens de piekuren in vergelijking met het huidige systeem, rekening houdend met de genoemde wachttijdeisen.

Om deze vraag te beantwoorden, hebben we voor simulatie als onderzoeksmethode gekozen, omdat die methode de mogelijkheid biedt de gevolgen van de overschakeling op het nieuwe systeem te onderzoeken nog vóórdat het systeem werkelijk wordt ingevoerd. Een tweede reden om simulatie te gebruiken houdt verband met de complexiteit van de verwerking van het radiotelefonieverkeer, waardoor een analytische oplossing van het genoemde probleem praktisch onmogelijk is.

Als programmeertaal kozen we Simula met de faciliteiten van het DEMOS-pakket (Zie Birtwistle, 1979).

huidige situatie

toekomstige situatie

creatie
QSO-MFoproep-
wachtrij-MFafhandeling door
oproep-
telefoniste-MFwachtrij bij
werktelefonistes-MFafhandeling door
werktelefoniste-MF

klaar

creatie
QSO-HFwachtrij
allround-
telefonistes-HFvolledige
afhandeling door
allround-
telefoniste-HF

klaar

creatie
QSO-MFoproep-
wachtrij-MFafhandeling door
oproep-
telefoniste-MF

wachtrij bij werktelefonistes MF/HF



afhandeling door werktelefoniste MF/HF



klaar

creatie
QSO-HFoproep-
wachtrij-HFafhandeling
door oproep-
telefoniste-HF

wachtrij bij werktelefonistes MF/HF



afhandeling door werktelefoniste MF/HF



klaar

3. Het Simulatiemodel

Om de afhandeling van QSO's in DEMOS te kunnen beschrijven, beschouwen we de telefonistes en QSO's als afzonderlijke entiteiten met elk hun eigen kenmerken en acties. Bij wijze van voorbeeld zullen we nu puntsgewijs de acties van één van deze entiteiten, namelijk de oproeptelefoniste, beschrijven.

- 1. Wacht op binnenkomend QSO of begin met afhandeling QSO;
- 2. Vraag schip (QSO) zich bekend te maken;
- 3. Noteer hoeveel telefoontjes en telegrammen het schip heeft;
- 4. Geef deze gegevens door aan de minst druk bezette telefoniste en verzoek het schip te wachten tot deze werktelefoniste vrij is.
- 5. Terug naar 1.

Analoog hebben we de acties van werktelefoniste, all-roundtelefoniste en QSO beschreven. Daarbij dient bedacht te worden, dat een QSO slechts op één van beide golflengten (HF of MF) kan binnenkomen.

4. Kansverdelingen

Voor de keuze van de soort verdelingen hebben we ons gebaseerd op ervaringen van medewerkers van de afdeling Statistiek en Bedrijfseconometrie van de PTT en van Scheveningen-Radio. De bijbehorende parameters zijn bepaald op basis van eveneens door deze instanties verstrekt cijfermateriaal. Interessant zijn de gegevens van 1980 (het laatste jaar waarvan ten tijde van het onderzoek volledige gegevens beschikbaar waren) en de voorspellingen voor 1983, het jaar waarin het nieuwe systeem voor het eerst geïmplementeerd zou kunnen zijn.

We nemen aan dat de QSO's arriveren volgens een niet-homogeen Poissonproces, *) waarvan de intensiteit afhangt van het uur van de dag; het piek uur ligt tussen 11 en 12 uur 's-ochtends. Het gemiddeld aantal QSO's per uur in 1980 op MF varieert tussen 8 en 20 en op HF tussen 9 en 25. Voor 1983 gaan we uit van een toename van de HF-telefonie met 12% en een afname van de MF-telefonie met 47%. Deze spectaculaire daling van de omvang van de MF-telefonie is te verwachten aangezien de boortorens op de Noordzee, die tot op heden gebruik maakten van de faciliteiten van Scheveningen-Radio, steeds meer met eigen straalverbindingen gaan werken. Verder loopt de visserij terug en schakelen veel schepen over op de zeer korte golf (VHF), waar Scheveningen-Radio ook een aantal kanalen beschikbaar heeft.

*) Zie voor een behandeling van niet-homogene Poissonprocessen

P.A.W. Lewis en G.S. Shedler, 1979.

Het aantal gesprekken en telegrammen per QSO volgt bij benadering een voorwaardelijke Poissonverdeling. Het voorwaardelijke heeft hierbij betrekking op het feit dat in de praktijk een QSO minstens één gesprek of telegram moet bevatten.

Voor de gespreks- en telegramduur gaan we uit van de negatief-exponentiële verdeling.

5. Runcontrole

We laten in de simulatie de QSO's arriveren volgens het bovengenoemde Poissonproces; vervolgens bepalen we voor elk QSO het aantal gesprekken en de duur daarvan door trekkingen uit genoemde verdelingen; tenslotte bekijken we de ontwikkeling van de lengte van de wachttijden in de loop van de dag. De simulatieperiode loopt van 8 tot 14 uur (om 14 uur is het piekeffect weggestorven). Om tot statistisch betrouwbare uitkomsten te komen dienen we een aantal replicaties van zo'n simulatie van één dag uit te voeren. Hoeveel replicaties nodig zijn wordt in het vervolg van deze paragraaf afgeleid voor de eerste wachttijdeis (Zie par. 1). De afleiding voor de tweede wachttijdeis is analoog.

Van elke replicatie i stellen we x_i vast, zijnde de gemiddelde wachttijd tijdens het drukste uur. Van deze x_i mag aangenomen worden dat deze normaal is verdeeld: een χ^2 -aanpassingstoets (berekend uit een verkennend experiment van 50 replicaties) levert 5,3 op, terwijl bij een α van 0,1 de tabelwaarde 7,8 is.

We beschouwen nu het volgende toetsingsprobleem:

$$H_0: \mu = \mu_0 = 10$$

$$H_1: \mu = \mu_1 = 7,5$$

Hierin is μ de verwachtingswaarde van de normale verdeling waaruit de waarden van x_i trekkingen zijn: $x_i \in N(\mu, \sigma^2)$.

Als toetsingsgrootte kiezen we $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$.

Bij deze toets is de fout van de eerste soort (met kans α) het ten onrechte concluderen dat H_1 geldt, i.e. concluderen dat aan de wachttijdeis voldaan is, terwijl dat niet het geval is. Er worden dan te weinig telefonistes ingezet.

De fout van de tweede soort (met kans β) is het ten onrechte concluderen dat H_0 geldt, i.e. concluderen dat nog steeds niet aan de wachttijdeis voldaan is, terwijl dat al wel het geval is. We zetten dan te veel telefonistes in.

Met de gedane keuze van nulhypothese en alternatieve hypothese bereiken we dat we niet te snel concluderen dat het met de wachttijdeis wel goed zit. Primair is namelijk, dat we aan de wachttijdeis voldoen. Secundair is, dat we niet te veel telefonistes inzetten.

Bij het toetsen leggen we de kans α vast: $\alpha = 0,1$.

We kunnen nu twee wegen inslaan:

- I. Voor de kans β een toelaatbare waarde aangeven en vervolgens n (het aantal replicaties per experiment) berekenen uit de volgende als stopping rule gebruikte formule:

$$n = \frac{(z_{1-\alpha} + z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} \sigma^2 \quad (1) \quad (\text{Zie Kleijnen, 1975, pag. 495})$$

Deze formule mogen we gebruiken, mits de grootheid die we per replicatie vaststellen (namelijk de gemiddelde wachttijd in het drukste uur) normaal is verdeeld. Uit de resultaten van het reeds genoemde verkennend experiment mogen we concluderen dat aan die voorwaarde is voldaan. De onbekende σ^2 vervangen we door de schatter s^2 , zijnde de variantie berekend uit de als individuele waarnemingen beschouwde gemiddelde wachttijden in het drukste uur bij de tot dan toe uitgevoerde replicaties van het betreffende experiment.

- II. Om praktische redenen (bijvoorbeeld budgettaire overwegingen) een bepaalde waarde voor n kiezen. De waarde van β ligt daarmee vast (gegeven $\mu_1 = 7,5$) en kan bij een lage n vrij grote waarden aannemen. β valt als volgt te berekenen:

$$\beta = P\left(\underline{z} > -z_{1-\alpha} - \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{\sigma / \sqrt{n}}\right) \quad (2) \quad (\text{Zie Kleijnen, 1975, pag. 495})$$

We verkiezen weg I boven weg II, aangezien we daarbij β zelf kunnen kiezen. Het nadeel van weg I is echter dat het per experiment benodigde aantal replicaties erg groot kan zijn. De ons ter beschikking gestelde computertijd was van dien aard dat we genoodzaakt waren een bovengrens van 25 te stellen aan het aantal replicaties per experiment.

Samenvattend: we combineren de beide genoemde wegen door een stopping rule under constraint toe te passen, dat wil zeggen n wordt bepaald uit voornoemde formule (bij een β van 0,2) met een maximum van 25. Wel kan daardoor β vrij hoge waarden aannemen, namelijk in die gevallen dat het experiment bij 25 replicaties wordt afgebroken zonder dat reeds aan de stopping rule is voldaan. In sommige van de door ons uitgevoerde experimenten bedroeg β zelfs meer dan 0,5.

6. Proefopzet

Welke experimenten gaan we uitvoeren? De vergelijking tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie is zowel interessant voor 1980 als voor 1983 (het jaar waarin de nieuwe situatie op zijn vroegst ingevoerd zou kunnen zijn).

Bij elk van deze $2 \times 2 = 4$ mogelijkheden kiezen we een aantal in te zetten telefonistes en kijken we of aan de wachttijdeisen voor zowel HF als MF voldaan wordt door vast te stellen of de toetsingsgrootheid $\bar{x}$ in het kritieke gebied $Z = [-\infty, \mu_0 - z_{1-\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}]$ ligt.

Afhankelijk daarvan zetten we in het volgende experiment één telefoniste meer of minder in.

7. Simulatieresultaten en Conclusies

Werkend volgens de in de proefopzet aangeduide werkwijze hebben we de juist toereikende aantallen telefonistes gevonden zoals in Tabel 1 en 2 vermeld, welke tabellen wij vervolgens toelichten.

Voor de aantallen in Tabel 1 en 2 geldt dat er "juist" mee voldaan kan worden aan de wachttijdeisen, dat wil zeggen wij stellen zoveel telefonistes aan, dat wij "zeker" weten ($1-\alpha$ zekerheid) dat geen te hoge wachttijd optreedt. Tabel 1 presenteert de resultaten met het huidige systeem met één oproep-telefoniste en een aantal werktelefonistes op de MF en een aantal all-roundtelefonistes op de HF.

Tabel 2 presenteert het systeem waarin er gewerkt wordt met één oproep-telefoniste voor de MF en 2 oproep-telefonistes voor de HF en verder een pool van werktelefonistes voor HF en MF gezamenlijk.

Tabel 1. Benodigd aantal telefonistes huidige situatie, drukste uur

	oproep- telefoniste-MF	werk- telefoniste-MF	all-round- telefoniste-MF	totaal
1980	1	3	9	13
1983	1	2	10	13

Tabel 2. Benodigd aantal telefonistes toekomstige situatie, drukste uur

	oproep- telefoniste-MF	oproep- telefoniste-HF	werk- telefoniste-MF/HF	totaal
1980	1	2	9	12
1983	1	2	9	12

Resultaten tabel 1, 1980:

In de huidige situatie blijken er minimaal 3 werktelefonistes-MF en 9 all-roundtelefonistes-HF benodigd te zijn. In werkelijkheid zijn het er 2 à 3, respectievelijk 8. Aangezien Scheveningen-Radio duidelijke aanwijzingen heeft dat niet aan de wachttijdeisen voldaan wordt, hebben wij hiermee geen reden om de validiteit van het model in twijfel te trekken.

Resultaten tabel 1, 1983:

Met het huidige systeem blijken er in 1983 slechts 2 (in plaats van 3) werktelefonistes-MF, maar daarentegen 10 (in plaats van 9) all-roundtelefonistes-HF benodigd te zijn. De vermindering van het aantal werktelefonistes is te verklaren uit de prognose van Scheveningen-Radio dat het MF-verkeer ruwweg gehalveerd wordt. Volgens dezelfde prognose zal de verkeersdruk op de HF in 1983 met 12% toenemen ten opzichte van 1980. Deze toename leidt ertoe, dat het aantal all-roundtelefonistes met 1 verhoogd moet worden.

Resultaten tabel 2, 1980:

In de voor Scheveningen-Radio nieuwe situatie blijkt aan de wachttijdeisen te zijn voldaan met 9 werktelefonistes-MF/HF. Dit is een geringe verbetering ten opzichte van het huidige systeem in hetzelfde jaar. Rekening houdend met de oproeptelefonistes is dit een vermindering van totaal 13 naar 12 telefonistes.

Het blijkt dat zowel voor 1980 als voor 1983 invoering van het nieuwe systeem slechts een geringe vermindering van het aantal telefonistes mogelijk zal maken.

- Birtwistle, G.M. A system for discrete event modelling in
Simula, DEMOS, Macmillan, London, 1979.
- Kleijnen, J.P.C. Statistical Techniques in Simulation,
Marcel Dekker, N.Y., part 2, 1975.
- Lewis, P.A.W. en "Simulation of Nonhomogeneous Poisson Processes
Shedler, G.S. with Degree-Two Exponential Polynomial Rate
Function", Operations Research 27, 1026-1040 (1979).