

ソフトウェア無線機実現のための
6ポ - トダイレクトコンバ - ジョンレシ - バ

東京工業大学

電気電子工学科

本田 敦

阪口 啓

高田 潤一

荒木 純道

研究背景

無線通信における受信機的方式

ヘテロダイン方式

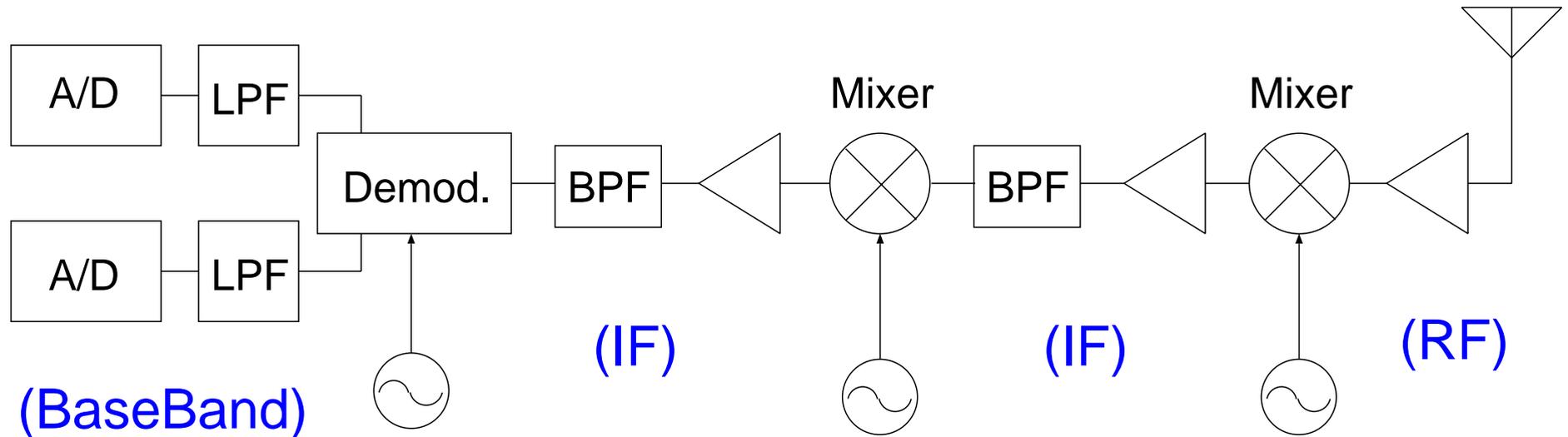
高周波(RF)から中間周波数(IF)に下げてから信号処理を行う

ダイレクトコンバージョン方式

高周波(RF)を直接ベースバンドまで落して信号処理を行う

ヘテロダイン方式

ス - パヘテロダインレシ - バ

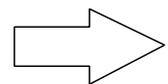


- ヘテロダイン方式ではミキサ、復調器、IFアンプなど非線型素子を多く用いる
- 所望波を取り出しやすいが、高調波歪みが生じやすい
- 小型化が難しい

ソフトウェア無線

ソフトウェア無線実現によって、様々な変調方式 / 周波数の電波を受信することができるようになる。

通信方式	周波数	伝送レ - ト
PHS	1.9 GHz	64kbps
IMT-2000	2.1 GHz	~2Mbps
無線LAN	2.45, 5.2 GHz	11Mbps
Beyond IMT-2000	3 ~ 6GHz	~20Mbps

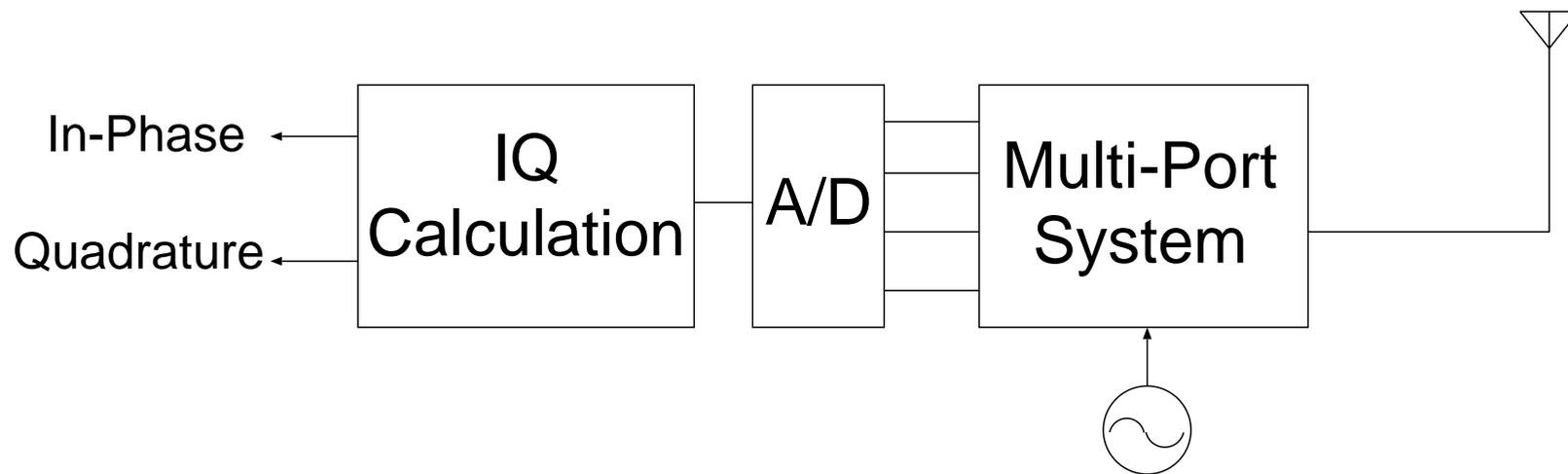


~6GHz広帯域レシ - バの必要性

ダイレクトコンバ - ジョンレシ - バ

ソフトウェア無線機のためのレシ - バ

マルチポ - トシステムを用いた
ダイレクトコンバ - ジョンレシ - バ



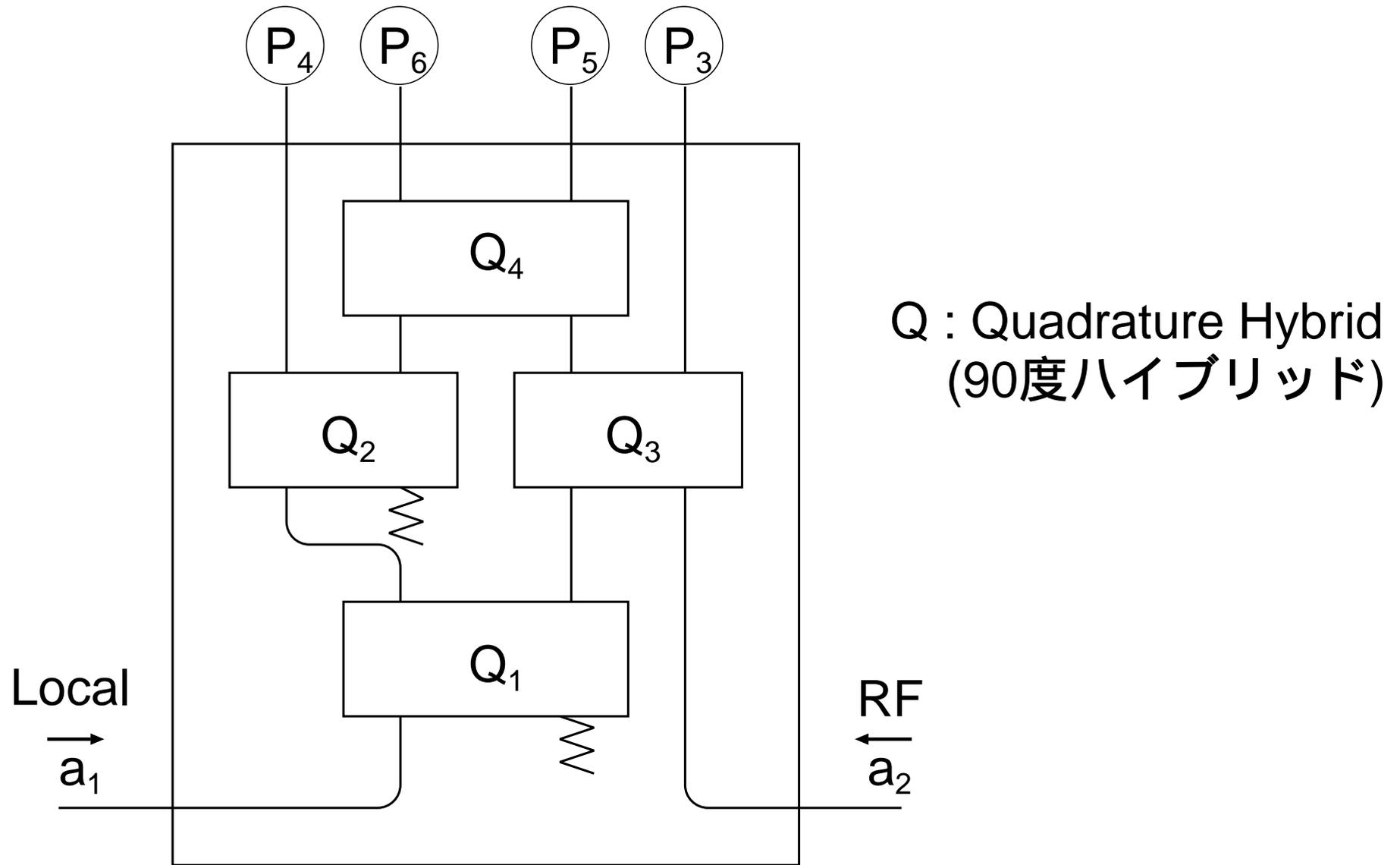
内部の非線型素子を減らした回路構成

ワンチップ化により小型化の可能性を持つ

研究内容

- マルチポート回路のうちの一つである6ポート回路をレシバとして用いる場合の理論的な検討
- 従来6ポートリフレクタで用いられてきたキャリブレーション手法のレシバへの拡張
- 6ポートダイレクトコンバージョンレシバの構成と、周波数1.9GHz,2.45GHz,5.85GHzでの復調実験

6ポート回路の構成



(矢加部利率"Six-Port Based Wave-Correlator With Application to Beam Direction Fading")

6ポ - ト回路の理論的検討

6ポ - ト回路の4個のポ - ト電力

$$P_h = \alpha |A_h a_1 + B_h a_2|^2 = \alpha |a_1|^2 \left| A_h + B_h \frac{a_2}{a_1} \right|^2 = \alpha |a_1|^2 |A_h + B_h W|^2 \quad h=3,4,5,6$$
$$W = \frac{a_2}{a_1} \quad (A_h, B_h : \text{Complex})$$

ポート電力比 ${}_h P_i = P_i / P_h$ をとる

$${}_h P_i = \frac{P_i}{P_h} = \left| \frac{A_i + B_i W}{A_h + B_h W} \right|^2$$

ここで

$${}_h K_i = \left| \frac{A_i}{A_h} \right|^2 \quad (\text{Real})$$

$$k_i = \frac{B_i}{A_i} \quad k_h = \frac{B_h}{A_h} \quad (\text{Complex})$$

とおく

6ポ - ト回路の理論的検討

$${}_h P_i = {}_h K_i \left| \frac{1 + k_i W}{1 + k_h W} \right|^2$$

h=4, i=3,5,6 とすると、

$${}_4 P_3 = {}_4 K_3 \left| \frac{1 + k_3 W}{1 + k_4 W} \right|^2$$

${}_4 K_3, {}_4 K_5, {}_4 K_6$ (Real)

k_3, k_4, k_5, k_6 (Complex)

$${}_4 P_5 = {}_4 K_5 \left| \frac{1 + k_5 W}{1 + k_4 W} \right|^2$$

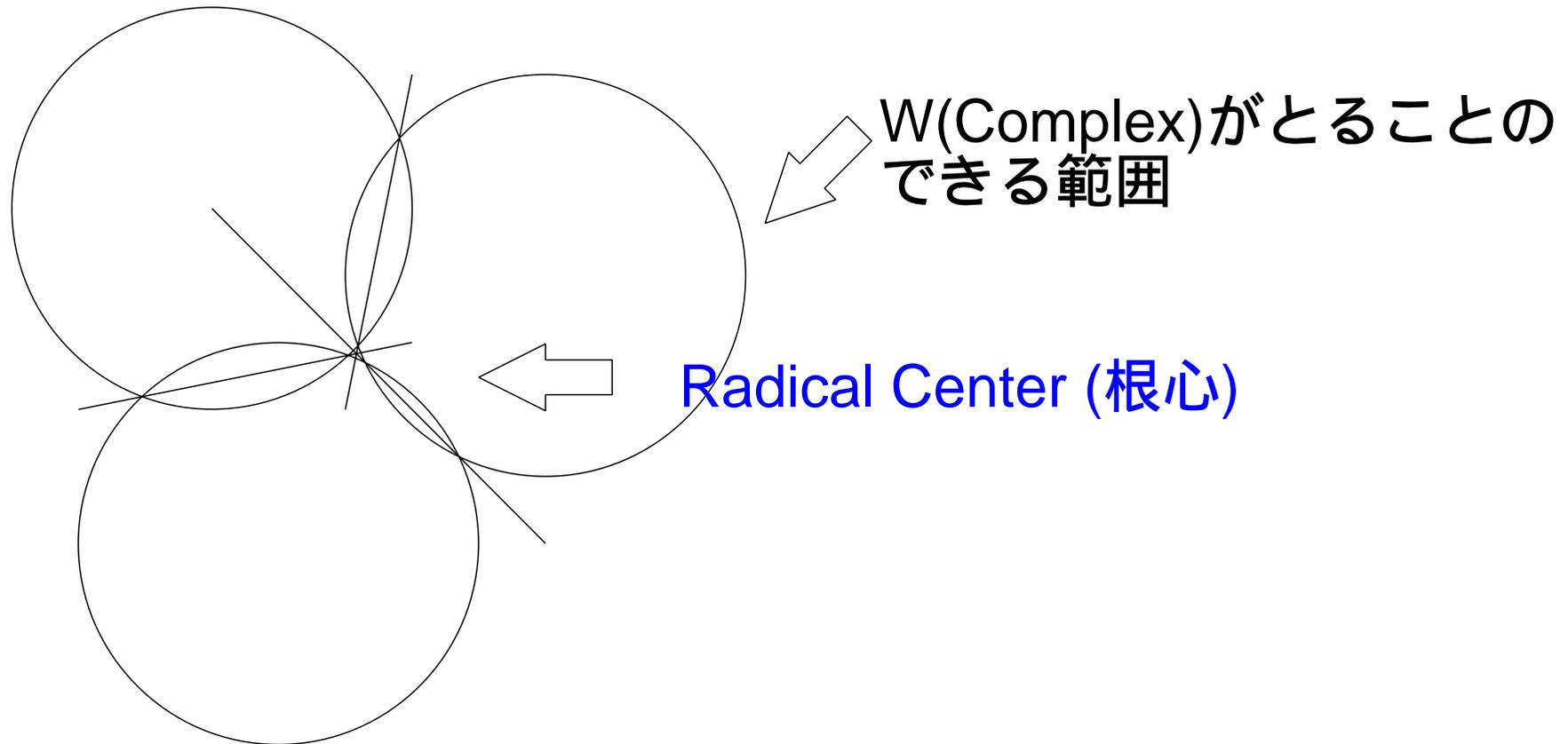


Calibration Parameter

$${}_4 P_6 = {}_4 K_6 \left| \frac{1 + k_6 W}{1 + k_4 W} \right|^2$$

6ポ - ト回路の理論的検討

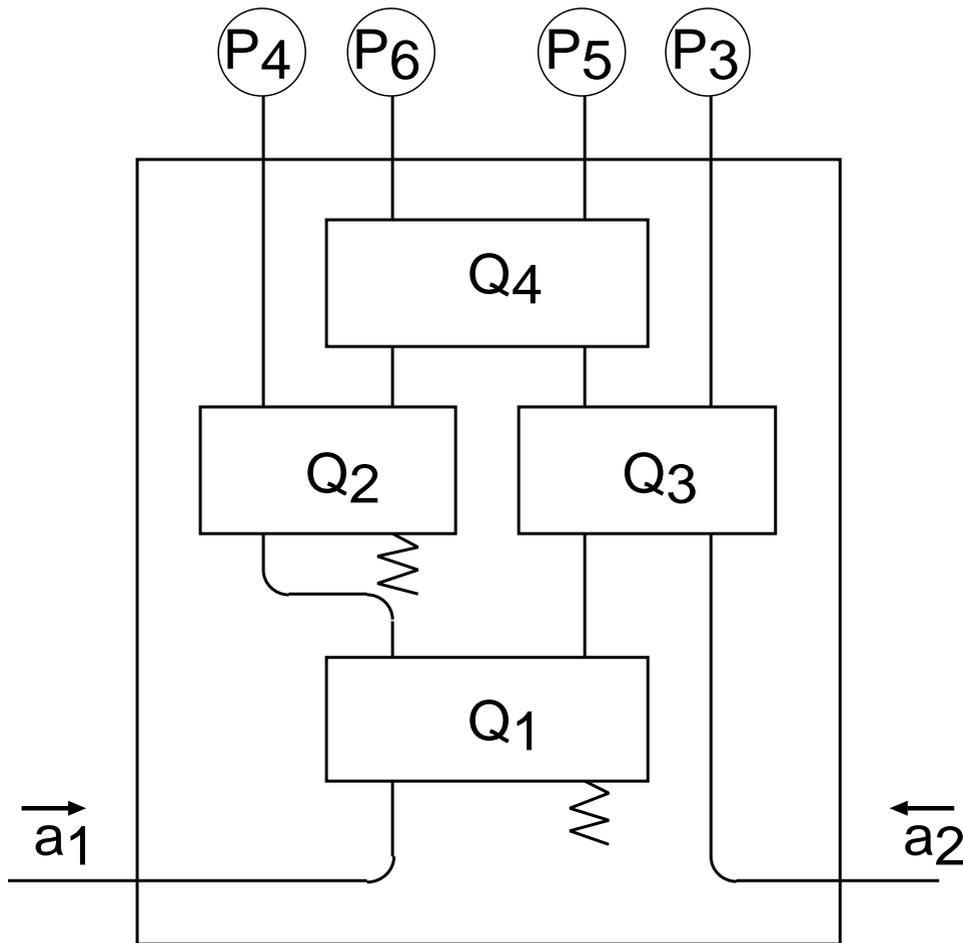
3式より3個の円を描くことができる



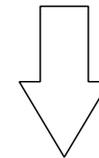
3個の円のRadical Center をとることで
Wを1つに決めることができる

複素振幅 W による復調

W は変調波 a_2 に対する無変調波 a_1 の比



$$W = \frac{a_2}{a_1} = \frac{\text{変調波}}{\text{無変調波}}$$



複素振幅 W を求めることにより
入力信号の復調を行うことができる

キャリブレ - ショナルゴリズム

6ポ-ト回路のシステムパラメ - タ ${}_h K_i, k_h$ を決定する
(例えば、 ${}_4 K_3, {}_4 K_5, {}_4 K_6, k_3, k_4, k_5, k_6$)

ポ - ト1,2の入力波の位相 θ が0から 2π まで回転するとき

$${}_h P_i(\theta) = {}_h K_i \left| \frac{1 + k_i W e^{-j\theta}}{1 + k_h W e^{-j\theta}} \right|^2$$

フ - リエ級数展開すると

$${}_h P_i(\theta) = \sum_{-\infty}^{\infty} {}_h C_i e^{-jn\theta}$$

n次フ - リエ係数は

$${}_h C_i = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} {}_h P_i(\theta) e^{jn\theta} d\theta$$

キャリブレ - ショナルゴリズム

フ - リエ係数 ${}_h^n C_i$ を求め、以下の式より ${}_h K_i, k_h$ を計算する

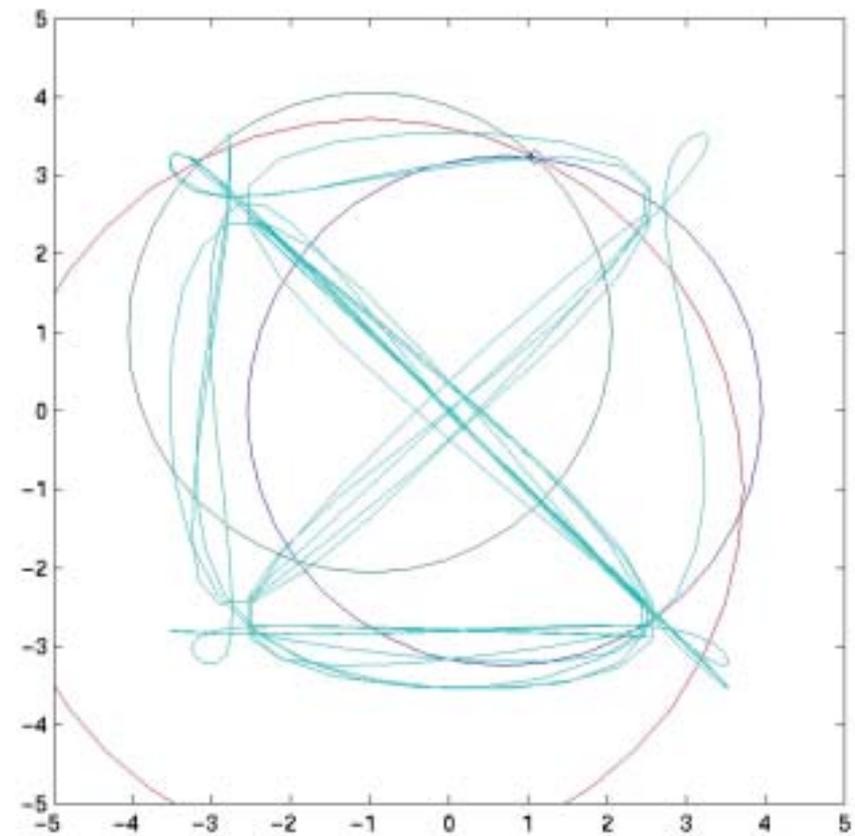
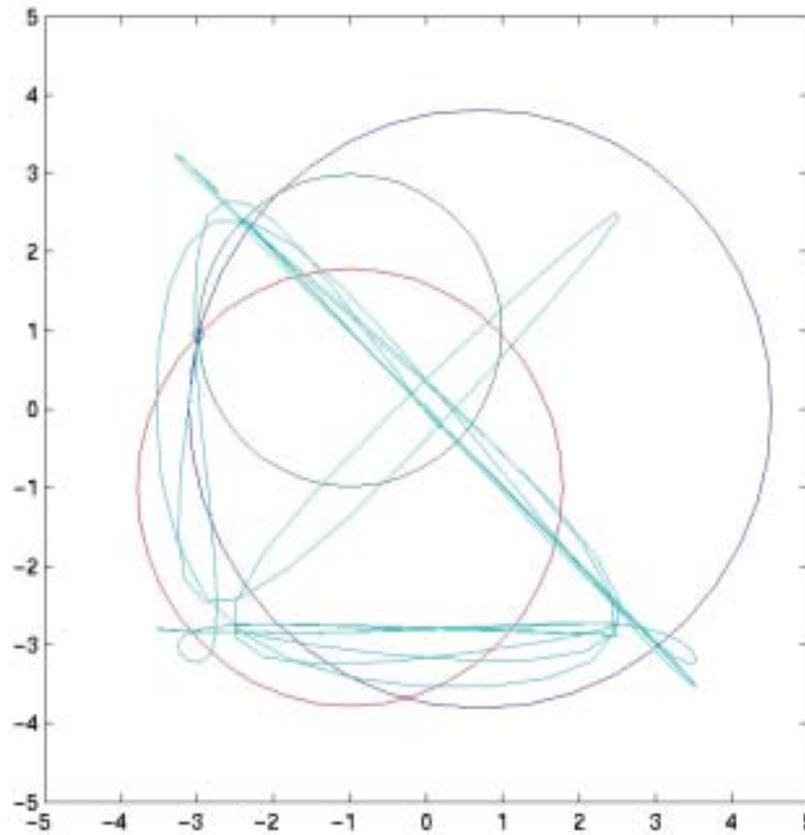
$$k_h = -\frac{{}_h^2 C_i}{{}_h^1 C_i} = -\frac{{}_h^4 C_i}{{}_h^3 C_i} = \dots$$

$${}_h K_i = {}_h^0 C_i \frac{1 - |k_h|^2}{1 + |k_i|^2 - 2\Re(k_i k_h^*)}$$

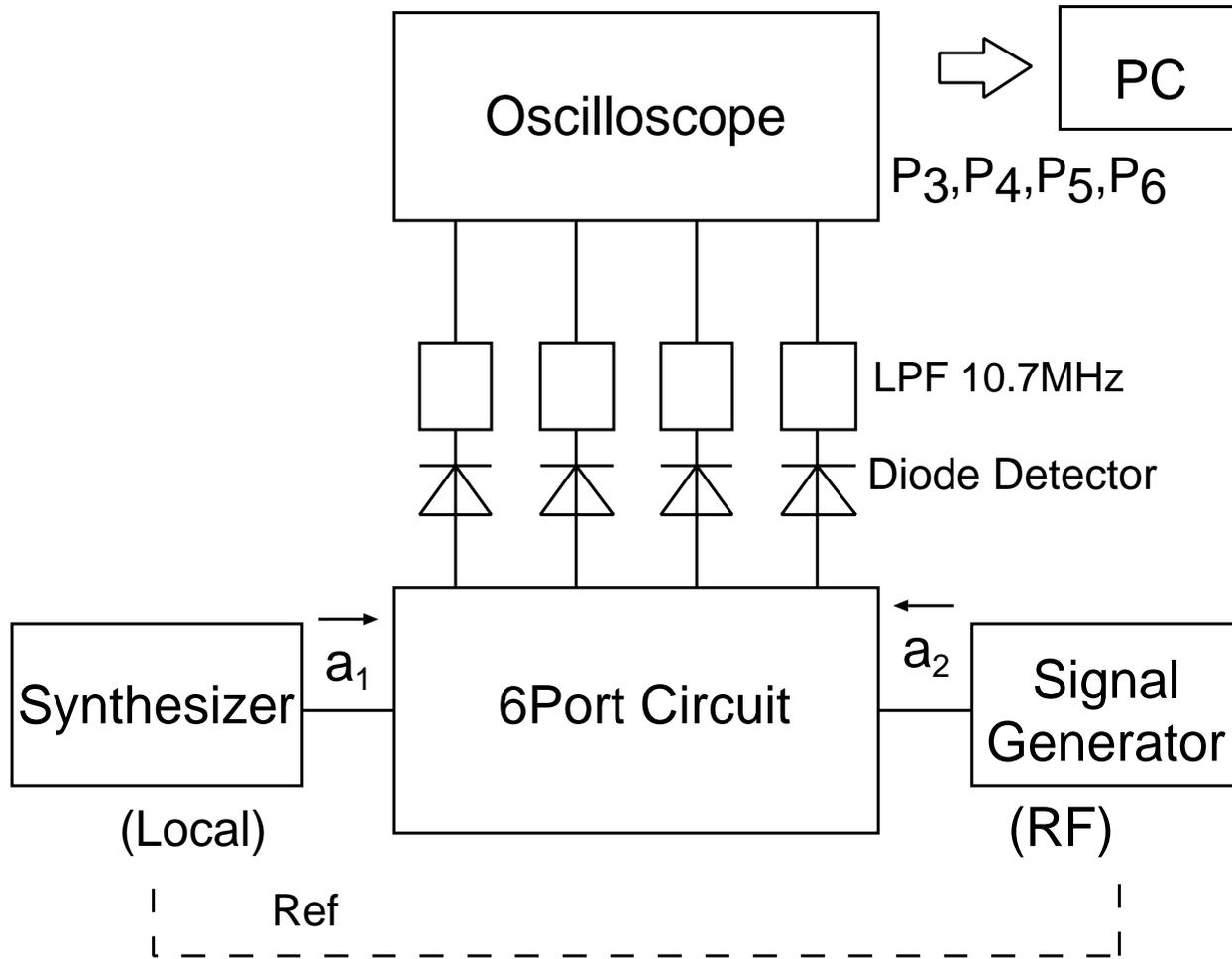
6ポ - ト回路の出力4ポ - トの電力比 ${}_3 P_i(\theta), {}_4 P_i(\theta), {}_5 P_i(\theta), {}_6 P_i(\theta)$ を測定して演算を行うとシステムパラメ - タ ${}_h K_i, k_h$ を得ることができる

計算機シミュレーション

6ポート回路の電力検出器の反射を
考慮しない場合のQPSK信号の復調

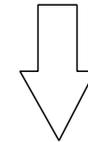


復調実験

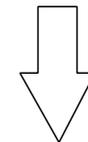


キャリブレーション

a_1, a_2 の周波数を合わせ、
 a_2 の位相 θ を 2π 回転させる
(周波数オフセット法による)



P_3, P_4, P_5, P_6 の測定



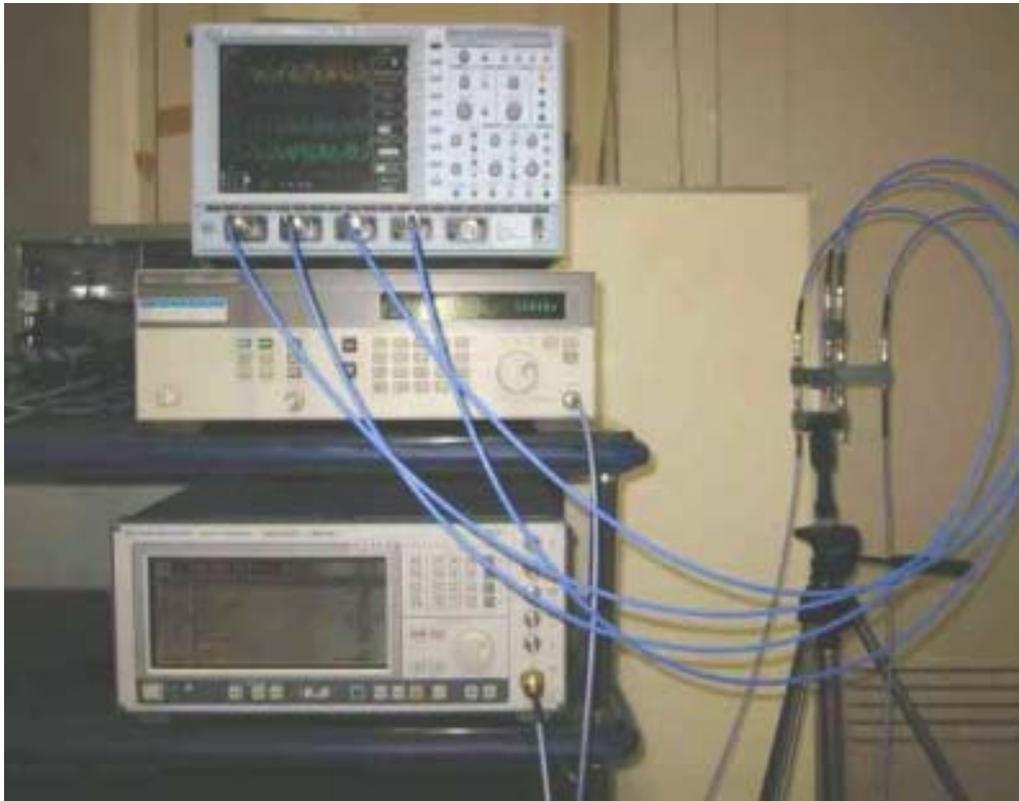
$4K_3, 4K_5, 4K_6, k_3, k_4, k_5, k_6$

復調実験

復調 a_2 をQPSK変調信号にし、同様に電力測定をする

変調方式	QPSK
周波数	1.9GHz, 2.45GHz, 5.85GHz
フィルタリング	コサイン
ロ - ルオフ係数	0.5
入力電力(P_2)	0dBm
ロ - カル電力(P_1)	2.6dBm
シンボルレ - ト	100ksym/s
サンプリングレ - ト	1Msamp./s

測定機器及び6ポート回路の写真

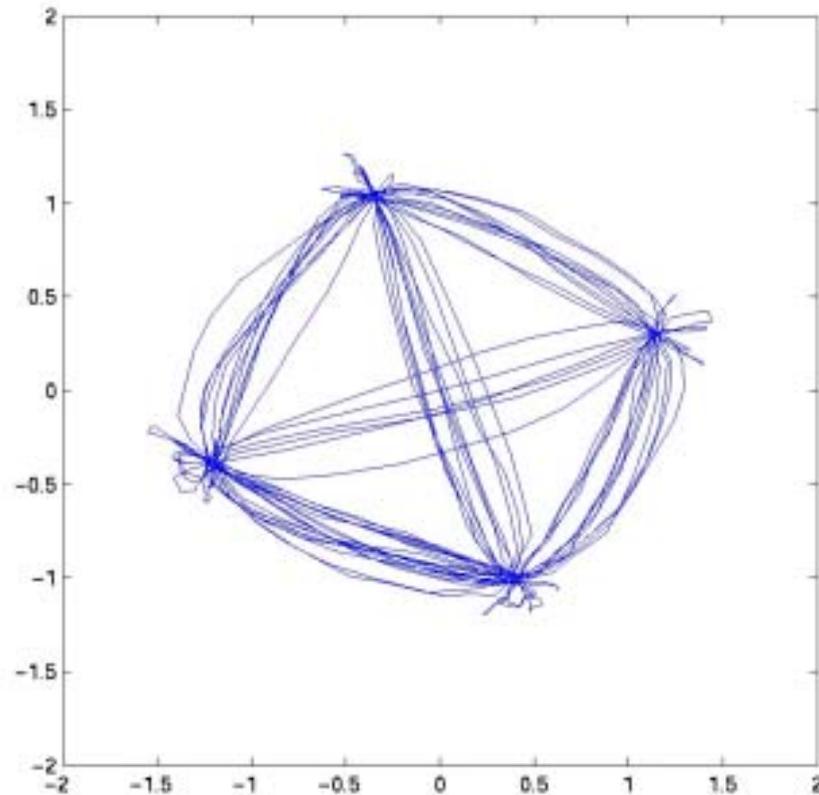


測定機器



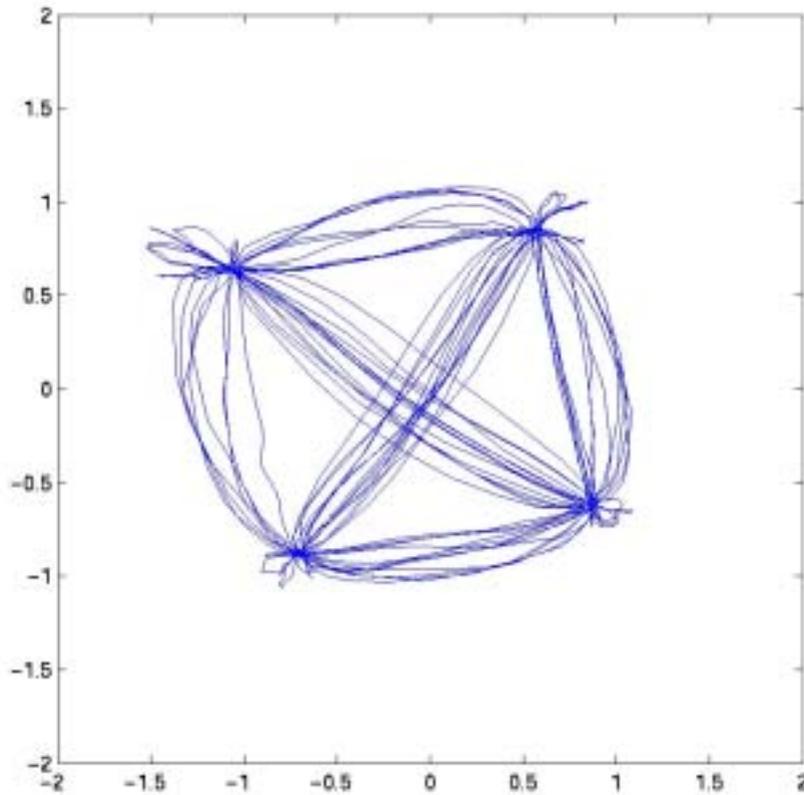
6ポート回路と検波器

1.9GHzでの実験結果

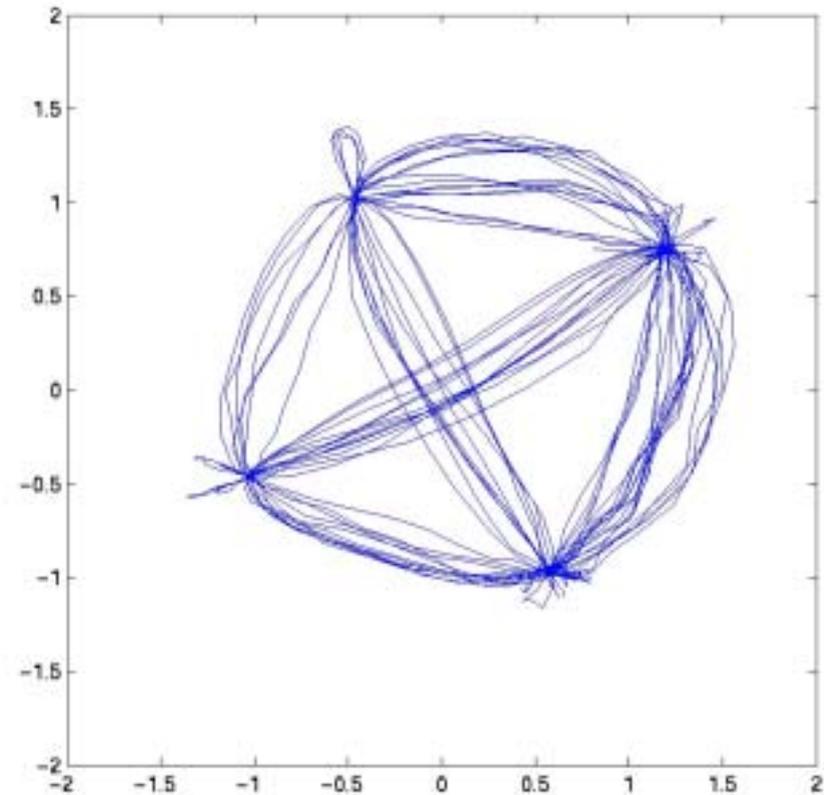


1.9GHz
QPSK信号
(100ksym/s, α - ルオフ係数0.5)

2.45GHz,5.85GHzでの実験結果



2.45GHz



5.85GHz

QPSK信号
(100ksym/s, α - ルオフ係数0.5)

実験結果の検討

実験結果より以下のことが分かった

- 6ポートダイレクトコンバージョンレシバでは、キャリアブレクションを正確に取ることにより、1.9GHz,2.45GHz,5.85GHzの信号の復調を行うことができる
- 復調された信号は中心からのずれ(DCオフセット)が小さい
- 使用周波数ごとに歪みの少ない復調を行うためにはキャリアブレクション時にその周波数に最適なロカル信号の電力を設定する必要がある

まとめ

- ソフトウェア無線のためのハードウェアとして、6ポートダイレクトコンバージョンレシバを提案
- レシバとして6ポート回路を用いた場合の理論的な検討
- 6ポートダイレクトコンバージョンレシバにおける積分法を用いたキャリブレーション手法の検討
- 6ポート回路を用いた1.9GHz, 2.45GHz, 5.85GHzにおけるQPSK信号の復調実験

今後の課題

- 伝送レ - トを上げたときの信号の復調
- ダイオ - ド検波器の電力ダイナミックレンジの検討
- ロ - カル電力の最適値の検討
- レシ - バのNFの検討
- 広帯域信号の復調